

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Bakalářská práce

2016

Jakub Jedelský

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Přínos IR předehřevu při vibračním svařování plastů

IR Preheating Contribution During Vibration Welding of Plastics

Student:

Jakub Jedelský

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student:

Jakub Jedelský

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Přínos IR přehřevu při vibračním svařování plastů
IR Preheating Contribution During Vibration Welding of Plastics

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te studii vlastností a použití termoplastů v automobilovém průmyslu.
2. Proved'te studii technologie vibračního svařování termoplastů.
3. Navrhněte a realizujte postup pro ověřování vybraných vlastností svarových spojů.
4. Dosažené výsledky porovnejte s literárními prameny a proved'te diskuzi.

Seznam doporučené odborné literatury:

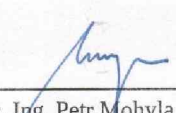
LEGRAND, D., BENDLER, J. T. *Handbook of Polycarbonate Science and Technology (Plastics Engineering)*, Marcel Dekker Inc. 2000.
MLEZIVA, J., ŠŇUPÁREK, J. *Polymery, Výroba, struktura, vlastnosti a použití*, Sobotáles, Praha 2000.
LOYDA, M., ŠPONER, V., ONDRÁČEK, V. *Svařování termoplastů*, UNO Praha s.r.o., Praha 2002.
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry



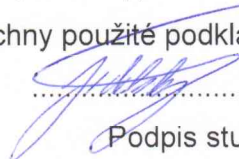
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016


.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2016....



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jakub Jedelský

Adresa trvalého pobytu autora práce: Janosalvice 37 , Rohle 78974

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JEDELSKÝ, J. *Přínos IR předehřevu při vibračním svařování plastů: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 70 s. Vedoucí práce: Ing. Vladislav Ochodek.

Bakalářská práce se zabývá přínosem IR předehřevu při vibračním svařování termoplastů. V práci budeme zkoumat svařování termoplastických dílů pro automobilový průmysl, především svítilen, a to s technologií svařování pomocí IR předehřevu a bez IR předehřevu. Hlavní pozornost je věnována podrobení zkouškám svařovaných dílů a porovnání metod.

Klíčová slova: vibrační svařování, infračervený předehřev, termoplasty

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

JEDELSKÝ, J. *IR preheating contribution during vibration welding of plastic .* Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 70 s. Thesis head: Ing. Vladislav Ochodek.

The bachelor thesis deals with the contribution of IR preheating during thermoplastic weldings. The thesis focuses on thermoplastic welding for an automobile industry, in particular for car lamps production, comparing the methods with or without the IR preheating. The bachelor thesis predominantly focuses on putting the welded parts to tests and furthermore, comparing the two methods mentioned above.

Key words: vibration welding, infrared preheating, thermoplastics

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLU.....	6
ÚVOD.....	8
I. TEORETICKÁ ČÁST	9
1. SVAŘOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	9
1.1. Definice termoplastů	9
1.2. Termoplasty v automobilovém průmyslu	11
1.3. Termoplast Polymethylmetakrylát (PMMA)	13
1.4. Termoplast (PC/ABS).....	15
2. VIBRAČNÍ SVAŘOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	16
2.1. Historie.....	16
2.2. Popis svařování	17
2.3. Procesní parametry.....	17
2.4. Základní princip fází svařování.....	19
2.5. Základní popis stroje	20
2.6. Druhy svařovacích pohybů.....	20
2.7. Popis pohybového systému	23
2.8. Vibrační svařování s IR předehřevem	24
2.9. Tvar a linie sváru.....	26
2.10. Výhody a nevýhody vibračního svařování	29
II. PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
3. POPIS VZORKŮ A STROJE M-624 HRSI	31
3.1. Popis testovaného vzorku	31
3.2. Popis vibrační svářečky M-624HRSi	32
3.2.1 Technické údaje stroje	33
3.2.2 Rozměry, plán postavení.....	35
3.2.3 Celkový pohled do stroje	35
3.2.4 Horní nástroj	36
3.2.5 Dolní nástroj.....	36
3.2.6 Infračervené zrcadlo (CVT)	37
3.3. Příprava svařování.....	38
3.3.1. Svařovací parametry zadané.....	38
3.4. Vady vznikající při svařování.....	39
3.5. Testování vzorků.....	43

3.5.1. Zkouška těsnosti	43
3.5.2. Zkouška „tlakem“	44
3.5.3. Naměřené hodnoty na zkoušce „tlakem“ bez IR předehřevu	44
3.5.4. Naměřené hodnoty po zkoušce „tlakem“ s IR předehřevem	44
3.6. Výpočet hraničního tlaku.....	45
3.6.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet.....	45
3.6.2. Výpočet.....	46
3.7. Výpočet síly působící na svár.....	47
3.7.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet.....	47
3.7.2. Výpočet pro první vzorek bez IR předehřevu.....	47
III. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT A ZÁVĚR.....	48
4. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT	48
5. ZÁVĚR.....	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
SEZNAM TABULEK	52
SEZNAM OBRÁZKŮ	53

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLU

Značka/Symbol	Význam	Jednotka
A	Amplituda	[cm]
ABS	Akrylonitril Butadien Styren	[-]
bar	Bar	[bar]
°C	Stupeň Celsia	[°C]
CNC	Číslicově řízený stroj	[-]
CVT	Čistá vibrační technologie	[-]
cm ²	Centimetr čtverečný	[cm ²]
daN	Dekanewton	[daN]
DVS	Norma (Německá asociace svařování)	[-]
dB	Decibel	[dB]
F _{sv}	Síla působící na svar	[N]
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou	[-]
Hz	Hertz	[Hz]
IR	Infračervené(infrared)	[-]
kg	Kilogram	[kg]
kW	Kilowatt	[kW]
LCD	Displej z tekutých krystalů	[-]
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou	[-]
l _{sv}	Délka svařovacího žebra	[cm ²]
MPa	Megapascal	[MPa]
mbar	Milibar	[mbar]
mm	Milimetr	[mm]
mm/s	Milimetr za sekundu	[mm/s]
N	Newton	[N]

PA 46	Nylon 46	[-]
PA 6	Nylon 6	[-]
PA 66	Nylon 66	[-]
PBT	Polybutylen –tereftalát	[-]
PC	Polykarbonát	[-]
PC+ABS	Polykarbonát/ABS	[-]
PET	Polyethylen – tereftalát	[-]
PLC	Programovatelný logický automat	[-]
P_{lim}	Limitní tlak pro zkoušku	[mbar]
PMMA	Akryl	[-]
P_n	Tlak naměřený zkouškou	[mbar]
POM	Acetal	[-]
PP	Polypropylen	[-]
PPS	Polyphenylen Sulfid	[-]
PS	Polystyren	[-]
PVC	Polyvinyl Chlorid	[-]
Re	Mez pevnosti	[MPa]
SAN	Styren Akrylonitril	[-]
S_{sv}	Plocha svaru	[-]
s	Sekunda	[s]
TPE-E	Polyether-Ester blokový Kopolymer	[-]
V	Volt	[V]
$\sigma_{n_{min}}$	Minimální smykové napětí	[MPa]

Úvod

Plasty v dnešní době hrají důležitou roli nejen v automobilovém průmyslu. Termoplasty nacházejí využití také ve stavebnictví, elektrotechnice, v optických systémech a dalších odvětvích. V automobilovém průmyslu se používají díky jejich mechanickým, chemickým, fyzikálním (odolnost proti korozi, transparentnost, nízká hmotnost, barevná stálost) vlastnostem [1].

Do typických spojovacích metod plastových dílů patří šroubování, lepení a svařování. Svařování nabízí mnohem efektivnější metodu trvalého spojení plastových dílů. Existují různé svařovací techniky, jako jsou svařování horkým tělesem, infračerveným paprskem, laserem, ultrazvukem, vysokofrekvenční a vibrační svařování [7].

Vibrační svařování je ideální pro svařování termoplastických dílů. Jedná se o proces velmi přesný a rychlý, proto se používá v sériové výrobě. Princip generování tepla vzniká pomocí tření ploch o sebe. Části se pohybují proti sobě, to má za následek roztavení svařovacích ploch. Po vychladnutí se svařovací plochy spojí [1].

Jednoduchost obsluhy strojů a jejich efektivnost nabízí rychlé vrácení vynaložených finančních prostředků do zařízení. Použití vibračního svařování není jen pro svařování světlometů automobilů, ale i dílů, jako jsou spojery, nárazníky, mřížky chladiče a sacího potrubí [1].

Postupem času byla vyvíjena řada metod spojování plastických dílů. Jako nevhodné se ukázalo použití mechanického spojení pro náchylnost k praskání. V dalším případě, při použití topné desky, docházelo ke křehnutí materiálu na rozhraní spoje. Vibrační svařování se ukázalo jako nejlepší řešení, jednak z hlediska kvality spojů a také z hlediska ekonomického. Termoplastické materiály jsou výhodné z hlediska ekonomického pro svoji odolnost proti korozi, která umožňuje delší životnost vozidla, dále recyklovatelnost materiálu. Nižší hmotnost termoplastického materiálu oproti kovovým materiálům vede k úspoře paliva automobilu [7].

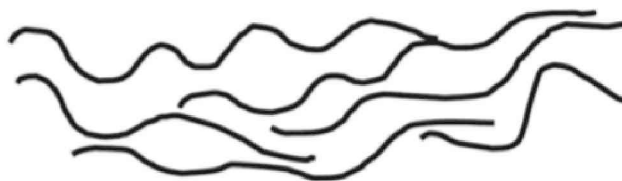
Tato práce se zabývá pevným spojením dvou termoplastických materiálů metodou vibračního svařování bez předehřevu a s IR předehřevem. Použité termoplasty jsou Polymetylmetakrylát a Polykarbonátakrylonitril-butadién-styrén. Výsledné svařování je porovnáváno jak po stránce vizuální, tak bude podrobeno zkouškám dlouhodobé spolehlivosti svítilen pomocí předem stanovených zkoušek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. SVAŘOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

1.1. Definice termoplastů

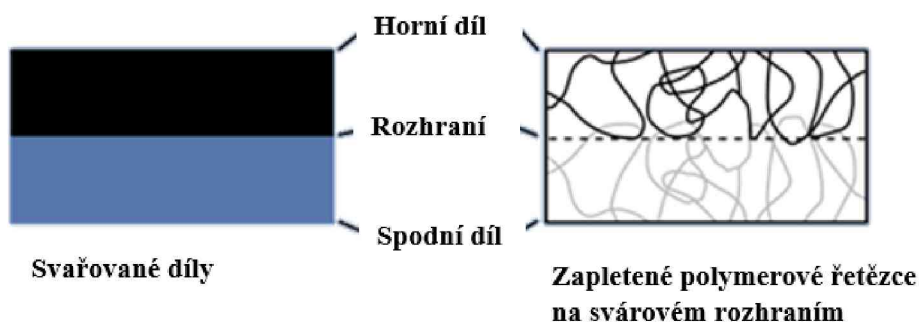
Termoplasty se skládají z polymerů, což jsou makromolekulární látky, které lze rozdělit na přírodní a syntetické. Pokud polymer smísíme s důležitými přísadami a převedeme do formy pro další technologické zpracování, stává se polymer plastem. Polymer je řetězec skládající se z monomerních jednotek, které se vícečetně opakují.



Obrázek 1 Termoplastický řetězec [1]

Pro plast je nutné, aby měl vhodné užitné vlastnosti. Plasty můžeme rozdělit na reaktoplasty a termoplasty podle toho, jak se chovají za zvýšené teploty. Při výrobě plastů se používají pro jejich snadnější zpracování a kvalitu materiálu přísady, neboli aditiva. Přidávají se stabilizátory, které chrání polymery před degradací, jsou tedy nezbytné. Dále jako přísady mohou být použita maziva, modifikátory, změkčovadla, barviva atd [2].

Téměř každý termoplast lze svařovat pomocí vibrací. Jediné polymery, které jsou obtížně svařovány, jsou fluoropolymery, vzhledem k jejich nízkému koeficientu tření.



Obrázek 2 Polymerová struktura [1]

Důležitou vlastností termoplastických polymerů je, že po zahřátí měknou, rozpouští se a stávají se tvarovatelné, přičemž teplotou dané změny tvárnosti mohou nastat opakovaně a nedochází ke změně chemické struktury [1]. Probíhá pouze fyzikální proces. Na rozdíl od reaktoplastů je tento proces je nevratný. Po následném ochlazení tvrdnou.

Obecně platí, že materiály s vysokým bodem tání vyžadují vyšší vstupní energii, a proto mají delší čas svařování. Když jsou dva termoplastické materiály svařené k sobě, polymerní řetězce difundují přes rozhraní a poutají se zapletením řetězců. Nízká teplota vodivosti termoplastů způsobuje, že rychlost ochlazování po roztavení je dostatečně pomalá pro vytvoření silného spojení. To je velice důležitý faktor na rozdíl od kovů, kde je teplo rychle odvedeno pryč ze svařované oblasti [1]. Celková spotřeba termoplastů činí 80 %, nebo i více z celkové spotřeby plastů. Směsi slučitelných termoplastů nám umožňují využití atraktivních vlastností každého polymeru [3].

Tabulka 1 Rozklíčování zkratk z obrázku 3

PA 6	Nylon 6	PMMA	Akryl
PA 66	Nylon 66	POM	Acetal
PA 46	Nylon 46	PP	Polypropylen
PBT	Polybutylen -tereftalát	PPS	Polyphenylen Sulfid
PET	Polyethylen - tereftalát	PS	Polystyren
PC	Polykarbonát	PVC	Polyvinyl Chlorid
PC+ABS	Polykarbonát/ABS	SAN	Styren Akrylonitril
ABS	Akrylonitril Butadien Styren	TPE-E	Polyether-Ester blokový Kopolymer
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou		
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou		

	PA6	PA66	PA46	PBT	PET	TPE-E	PC	PC+ABS	ABS	HDPE	LDPE	PMMA	POM	PP	PPS	PS	PVC	SAN
PA6	+	+	+						+									
PA66	+	+	+						+									
PA46	+	+	+															
PBT				+	+	+	+	+	+									+
PET				+	+	+	+	+										
TPE-E				+	+	+	+	+										
PC				+	+	+	+	+	+			+			+			+
PC+ABS				+	+	+	+	+	+			+			+			+
ABS	+	+		+			+	+	+			+				+	+	+
HDPE										+								
LDPE											+							
PMMA							+	+	+			+						
POM													+					
PP														+				
PPS							+	+							+			
PS									+							+		
PVC									+								+	
SAN				+			+	+	+									+

Obrázek 3 Svařitelnost termoplastů [1]

1.2. Termoplasty v automobilovém průmyslu

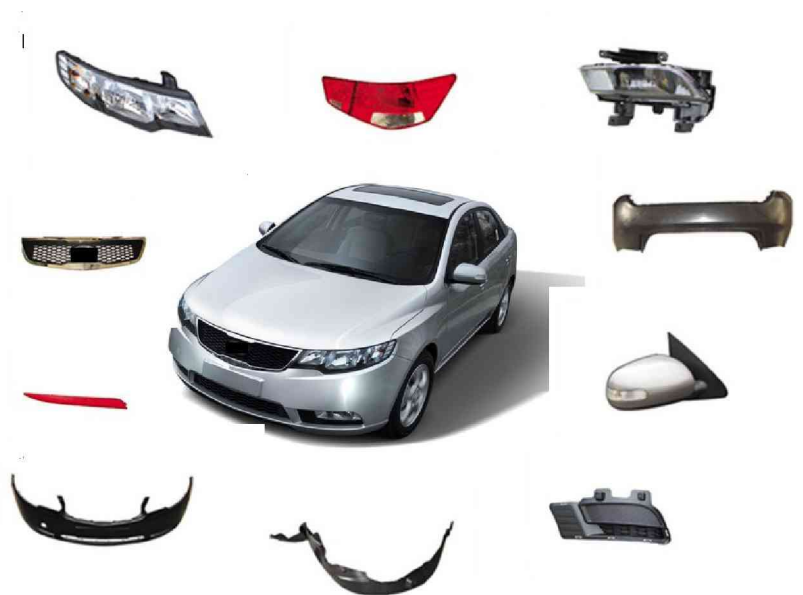
Pro automobilový průmysl je přínos plastů ekonomicky efektivní, proto tedy můžeme říci, že se jedná o jednoho z nejvýznamnějších odběratelů [23].

První aplikace termoplastů byly použity v automobilovém průmyslu na volanty a izolační desky, již zde se počítalo se snížením nákladů na výrobu oproti tzv. klasickému materiálu.

Rozvoj používání termoplastických materiálu můžeme datovat od 50 let, zde došlo k syntéze nových termoplastických materiálů. Postupem času termoplastický materiál nahrazoval v některých částech automobilů plechové díly karoserie. To mělo za následek jak snížení celkové váhy vozu, tak i vyšší pasivní bezpečnost posádky tak i jiných účastníků nehody. V dnešní době můžeme poukazovat na přínos termoplastů z hlediska

ekologie, materiál můžeme snadno recyklovat z vyřazených automobilů. V použití termoplastů dominují především osobní a lehké užitkové automobily.

Obvykle se výroba plastových dílů pro automobilový průmysl zpracovává ve specializovaných závodech. Automobilky obdrží již hotové součásti, např. světlomety. Celková spotřeba termoplastických dílů roste. Hlavní výrobní kapacity termoplastických dílů jsou v Severní Americe, Evropě a Japonsku, avšak celková spotřeba termoplastických dílů je závislá na roční produkci automobilů. Pro Českou republiku je to mezi 12 000 až 18 000 tunami pouze pro automobilový průmysl.



Obrázek 4 Využití termoplastů v automobilovém průmyslu [22]

Výzkum se ubírá směrem k využívání materiálů z polypropylénu. Vynikají mechanické a elastické vlastnosti těchto materiálů. Navíc výhodou je také jejich ekonomická nenáročnost. Postupem času se nároky na termoplastické materiály zvyšují, z původně využívaných nemísených polymerů začínají být vytlačovány modifikovanými plasty, které obsahují plniva. Použití množství termoplastu v osobních automobilech se hodně liší. Nejvíce se díly termoplastické používají na karoserie.

Tyto materiály můžeme přesně přizpůsobit použitým aplikacím. Modifikované plasty můžeme společně povrchově upravovat nástřikem a lakem s plechovou karoserií vozu. Na vnější díly vozu jsou kladeny nároky: vysoká houževnatost za nízkých teplot, tvarová stálost, nepropustnost, odolnost proti povětrnostním podmínkám a stárnutí.

Výhodou polymerní směsi je, že splňuje požadavky na bezpečnost automobilů, která se zvyšuje. Nárůst použití materiálu se odhaduje o 7% za rok [18].

Termoplastické materiály představují 50% objemu materiálů používaných v automobilovém průmyslu, ale tvoří pouze 10% hmotnosti automobilu. Díky snížení váhy automobily dosahují snížení spotřeby pohonných hmot.

Plasty můžeme najít pod kapotou automobilu: malé nádrže, sací potrubí, výměníky tepla. V interiéru představují dveřní panely, středové konzole a části vnitřního zpětného zrcátka, komponenty karoserie, zadní světliny a přední světlomet, víka zavazadlového prostoru a nárazníky [23].

1.3. Termoplast Polymetylmetakrylát (PMMA)

Polymetylmetakrylát je vysoce transparentní termoplastický polymer, který se získá polymerizací monomeru metylmetakrylátu. Tento proces vytváří materiál s nízkou molekulovou hmotností. Jedná se o termoplast spadající do skupiny amorfních termoplastů. Tento termoplast můžeme do jisté míry považovat za náhradu skla, proto se někdy vyskytuje pod názvem akrylové sklo, ale oproti sklu má nižší výrobní náklady a celkovou hmotnost. Polymetylmetakrylát byl poprvé vyroben v roce 1933, a to ve společnosti Rohm and Haas [15]. V dnešní době se jedná o jeden z nejpoužívanějších polymerů s vlastnostmi termoplastu, přitom se jedná o jeden z nejstarších plastů vůbec [16].

Materiál se zpracovává obvykle při teplotách 160°C až 250 °C. Lze použít všechny běžné technologie, jako jsou tvarování, odlévání, vytlačování a vstřikování. Pro tyto aplikace má PMMA tvar zrn nebo korálek. Vysoká viskozita PMMA v roztaveném stavu vyžaduje vysoké vstřikovací tlaky (až do 1500 barů) [3]. Zpracovávání při 210°C až 250°C pro vstřikování a pro 160°C až 200°C pro vytlačování [12]. Náklady na nákup materiálu závisí na ceně ropy.

PMMA je obzvláště známý pro své výjimečné optické vlastnosti. Tento polymer vykazuje pozoruhodné vlastnosti průhlednosti, které činí 92 % průhlednosti světla. Úhel celkového odrazu na vnitřním povrchu je 41° až 42°, což umožňuje použití materiálu na výrobu světelných vláken nebo také optických vláken. Při zahřátí na teploty v rozmezí 120°C - 140°C je materiál kaučukovitý a snadno tvarový, což umožňuje výrobu složitých dílů. Vyniká také tvarovou pamětí, snadnou mechanickou obrobiteľnosť (za předpokladu, že se vyloučí rázové přehřátí). Disponuje tepelnou odolností do 80°C. Materiál PMMA je snadno svařitelný. Svařitelnost je limitována vysokou frekvencí, používají se především metody vibrační svařování a ultrazvukové svařování. Pro spojení lze použít metodu lepení [17].

Pro vibrační svařování se používají následující parametry, jedná se o orientační hodnoty: amplituda: 0,6- 1,3 mm, tlak: 1.4- 3 0,4 MPa. [7].

Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti jsou obecně dobré s dobrou tuhostí, dokud teplota není příliš vysoká. Termoplasty a termoplastické kompozity mají sklon k praskání při zatížení, ke kterému dochází během několika dnů pod zatížením. Tento jev se ještě zvýrazní v přítomnosti agresivních látek (alkohol, benzín ...). Odolnost proti odření je závislá na drsnosti, typu plochy za normálních podmínek použití. Nicméně, když se často čistí, nebo se používají v prašném prostředí, může dojít k poškrábání. PMMA jsou snadno leštitelné [3].

PMMA vyniká svými optickými vlastnostmi, průhledností, stálostí barev, také nedochází k nežádoucímu jevu vyblednutí a je velmi odolný proti povětrnostním vlivům.[13] Reálné mechanické vlastnosti při pokojové teplotě jsou poměrně nízká nasákavost, rozměrová stabilita materiálu, vynikající elektrické vlastnosti, snadnost obrábění a možnosti styku s potravinami. Můžeme ho zpracovávat přímým litím, je to jedna z mála možností zpracování pro termoplasty [3]. Odolnost proti poškrábání také rozšiřuje použití materiálu [14]. PMMA nám umožňuje řezání, vrtání a další běžné strojní postupy, pokud lokální ohřívání nedosahuje tání materiálu.

Požární odolnost je přirozeně slabá, neprodukuje nadměrné množství kouře. Kromě toho akryláty odkapávají při spalování PMMA. Má omezenou odolnost vůči organickým rozpouštědlům [8]. Může dojít k praskání pod napětím [3].

Hlavní oblasti použití

Výborně se hodí pro aplikace, jako jsou světla automobilů, použití do kokpitů letadel jako náhrada skla, zubní protézy, výstražné trojúhelníky, reflektory lampy, čočky, zasklené dílce, lékařská zařízení, kryty lamp, spínací díly, číselníky, ovládací tlačítka, krytí displejů, od malých LCD v mobilních telefonech až po velké televizory nebo obrazovky určené pro audiovizuální prezentace [12].

1.4. Termoplast (PC/ABS)

Tento materiál je příkladem dvou směsí polymerů, který je známý jako slitina. Skládá se tedy z polykarbonátu a akrylonitril-butadién-styrénu [19]. Výhodou těchto materiálů je, že při promíchání dvou polymerů dochází ke zlepšení vlastností. Zpracování probíhá pomocí vstřikování, ale také pomocí vytlačování, vyfukování a tvarování [21]. Tento materiál je výhodný také z ekonomického hlediska, protože PC patří mezi dražší polymery, ale ABS je méně nákladný, proto je to dobrá volba, když hledáme materiál s příznivou cenou a s lepšími vlastnostmi.



Obrázek 5 Struktura PC/ABS [7]

U lineárního vibračního svařování se amplituda pohybuje mezi 0,6 a 0,9 mm a u orbitálního svařování se amplituda pohybuje mezi 0,4 a 0,7 mm, doporučený svařovací tlak je pro PC / ABS je mezi 1 a 2 N / mm² [7].

Mechanické vlastnosti

Materiál poskytuje výbornou rázovou pevnost při nízkých teplotách ve srovnání s ostatními termoplasty. Vyniká leskem a je snadno obrobitelný. Proto se tedy uplatňuje především jako konstrukční materiál. Vyniká také mechanickou pevností a příznivou rozměrovou stálostí. PC/ABS má mimořádně spolehlivou tepelnou stabilitu a to zajišťuje dobré tepelné zpracování materiálu [20]. Polymer PC/ABS se hodí k použití pro aplikace vyžadující vysokou teplotu při zatížení materiálu 95°C - 125°C [19]. Avšak maximální hodnota použití je závislá na poměru mezi ABS a PC ve směsi. Odolnost proti povětrnostním vlivům vykazuje malou změnu mechanické pevnosti a minimální změnu barvy při dlouhodobém vystavení světla. Má dobré dielektrické vlastnosti. Je snadno

obrobitelný. Po vstřikování má vynikající povrchovou přesnost, jedná se o krátký cyklus zpracování, tudíž nízké náklady. Používá se na formování složitých tvarů.

Chemická odolnost PC/ABS obecně není tak příznivá jako ve většině amorfních polymerů. Odolný je ve vodě a tucích, ale může se zdeformovat nebo prasknout v kontaktu s alkalickými a chlorovodíkovými uhlovodíky. Je dobré dbát na vhodný výběr rozpouštědel při povrchových úpravách [20].

Hlavní použití

Používá se především pro automobilový průmysl, jako jsou přístrojové desky, vnitřní a vnější obložení, díly ke světlometům, příruční skřínky odkládací panely a další konstrukční díly. Dále také pouzdra pro elektronické přístroje nebo jejich kryty, jako jsou zástrčky, zásuvky [21].

2. VIBRAČNÍ SVAŘOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

2.1. Historie

Jedno z prvních vibračních svařování je datováno v roce 1970. Jednalo se o stroj na výrobu celoplastových automobilových nárazníků. Pro výrobu spojení automobilového nárazníku byla nevhodně použita topná deska, která způsobovala křehnutí na rozhraní spoje. Indukční svařování bylo velice nákladové a nebylo použito v důsledku náchylnosti na spojení při nízkých teplotách a disponovalo větší váhou. Mechanické spojení také nepřicházelo v úvahu, protože potřebné otvory ke spojení vytvářely lokální náchylnost k prasknutí.

Počáteční problémy s vibračním svařováním byly spojeny s třikrát většími nároky na prostor ve strojích, než dříve u používaných technik. Svařování probíhalo pomocí elektromagnetického pohonu s nízkou frekvencí okolo 120Hz. Konkrétně pro tuto aplikaci bylo vyvinuto nové horizontální upínání. Využití je také například u nylonových sacích vzduchových rozdělovačů, které byly původně vyrobeny z jednoho kusu pomocí použití metody formovacího procesu. I když je tato metoda vhodná pro velmi složité provedení, byla příliš drahá.

Lineární vibrační svařování způsobilo v tomto směru revoluci výrazným snížením celkových investičních nákladů. V leteckém průmyslu se využívá ke spojování vzduchového difuzéru, který byl dříve lepen. Lepené díly potřebovaly speciální úpravu ploch a speciální lepidla, která byla velice drahá a k jejich vytvrdnutí bylo zapotřebí nejméně 24 hodin. S vibračním svařováním byla cena snížena o 70 procent. K dalším

využitím vibračního svařování patří spojení dvou polovin tlakových nádob, nádrží ventilů, svařování světlometů u automobilů [7].

2.2. Popis svařování

Vibrační svařování je z hlediska fyziky definované jako třecí svařování. Vibrační a ultrazvukové svařování patří do spojovacích technik, kde je požadovaná teplota tání dosažena pomocí generovaného tření pod definovaným tlakem v oblasti svařovacích ploch. Při této transformaci dochází zpravidla k tomu, že jedna ze dvou polovin, které mají být svařeny, se udržuje v klidu [1]. Naopak druhá polovina se pohybuje s předem stanovenou amplitudou. K hlavním parametrům patří svařovací čas, svařovací tlak, doba přidržení, amplituda, frekvence vibrací [18]. Všechny tyto faktory mohou ovlivnit výslednou pevnost svarového spoje [1]. Díly jsou vyrobeny z termoplastických materiálů. Při svařování se nemusí používat pojiva. Během procesu probíhá fáze pevného tření, fáze přechodového rozpustného tření, fáze zastavení toku taveniny a fáze chlazení. Avšak kvalita svarového spojení je závislá na materiálu a postupu svařování, který vyžaduje speciální školení pro pracovníky. Celý cyklus svařování trvá velmi krátkou dobu od 1s po 10s. Je použitelný pro celou řadu dílů z termoplastů [6].

2.3. Procesní parametry

Vibrační svařování se obecně používá na velké části, menší části lze navařit ekonomicky s více dutinami v nástroji, tudíž můžeme svařovat více kusů najednou. Nejdůležitější parametry procesu vibračního svařování jsou frekvence, amplituda, tlak, čas a hloubka sváru. V rámci optimalizovaných podmínek lze dosáhnout vysoké pevnosti sváru. Avšak optimální parametry svařování jsou závislé jak na nastavení stroje, tak na druhu polymeru, geometrii a požadavcích na čistotu [1]. Vlhkost během skladování zvyšuje u některých termoplastů obsah vlhkosti, následkem je vznik nežádoucích bublin na spojovaných plochách a dochází ke snížení pevnosti sváru. Aby se zabránilo tvorbě bublin, díly se vysušují, nebo je výhodné svařit je hned po tváření [10].

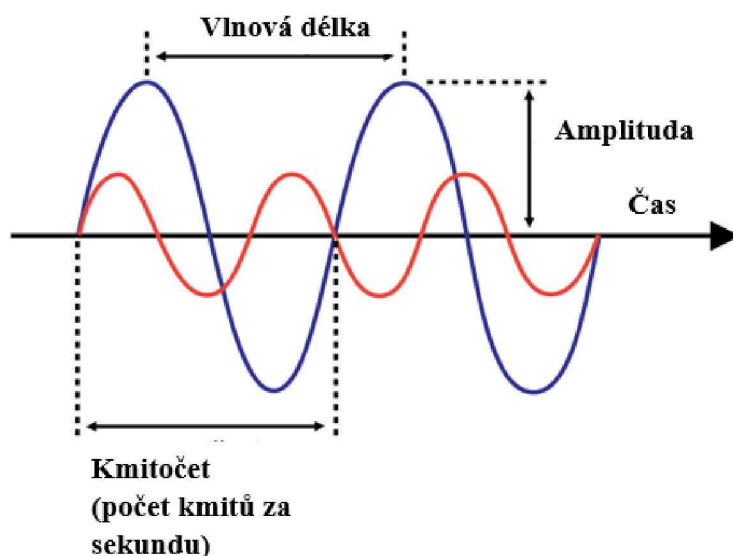
Frekvence

Většina průmyslových vibračních svářeček pracuje při frekvenci 100-240 Hz. Přesto existují i stroje, které využívají vyšší frekvenci. Pevnost sváru je obecně velmi citlivá na frekvenci a amplitudu. Některé materiály dokonce vyžadují vysokou frekvenci, aby dosáhly vysoké pevnosti sváru [10].

Amplituda

U vibračního svařování je závislost amplitudy na frekvenci. Můžeme tedy říci vysoká amplituda/ nízká frekvence a nízká amplituda/ vysoká frekvence. V provozu se

používá nižší svárová amplituda (0,7-1,8 mm) a frekvence (240Hz), nebo vyšší amplituda (2-4 mm) s nižší frekvencí (100 Hz) pro tvorbu účinných svárových spojení [10].



Obrázek 6 Amplituda [1]

Tlak

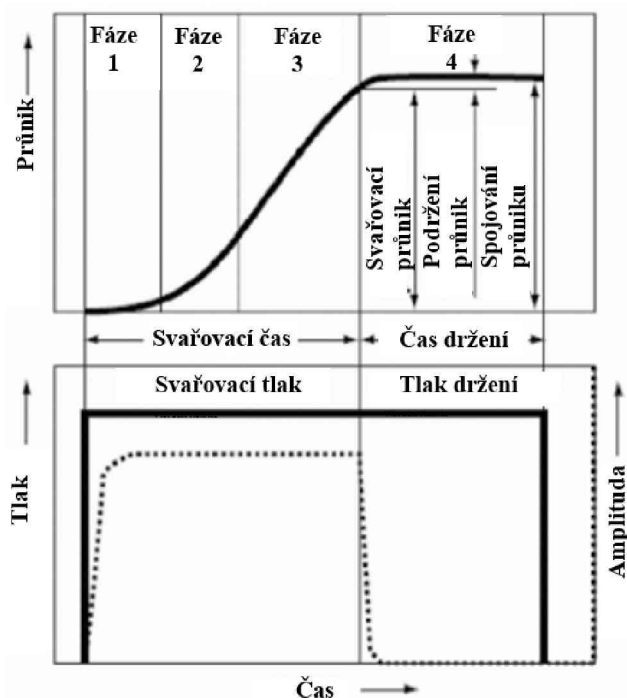
Použité tlaky se významně liší (0,5-20 MPa). Vyšší tlak snižuje dobu svařování, ale používají se tlaky na spodní hranici tohoto rozmezí (0,5-2,0 MPa). Při zvýšeném tlaku se snižuje pevnost sváru a mohou vznikat vady jako studené spoje sváru. V některých případech se používají dokonce dva tlaky, které mají pozitivní vliv na kvalitu sváru a zkracují celkovou dobu svařování [6]. Při svařování dvoustupňovým tlakem je v první fázi vyšší svařovací tlak, kdy dojde k rozhraní tání materiálu. Nižší tlak se používá na dokončení vibračního cyklu, což má za následek optimální pevnost sváru [7].

Čas

Vibrační svařovací technika je buď řízena předem nastaveným časem, nebo čas je kontrolován podle hloubky svařenců do sebe zapuštěných. U této techniky je čas proměnlivý. Obvykle je čas mezi 1 až 10 s [7].

2.4. Základní princip fází svařování

V důsledku tření mezi oběma částmi je generováno teplo, což způsobuje u polymerů rozpustnost. Vzhledem k tlaku se polymer roztaví a proudí ven z tavné zóny. Poté se generované vibrace zastaví a tavenina zatuhne ve společném spoji. Dělí se na čtyři různé stupně, které mohou být rozlišeny v procesu vibračního svařování. První fází je fáze pevného tření, následuje přechodová rozpustná fáze, ustálená fáze a fáze chlazení.



Obrázek 7 Průběh fází svařování [1]

Ve fázi pevného tření vzniká teplo v důsledku třecí energie mezi dvěma povrchy. [9]. To způsobuje, že se materiál polymeru ohřívá. Generované teplo je především závislé na třecích vlastnostech polymerů, frekvenci, amplitudě a tlaku. Materiál je stále v pevném stavu, nedochází k žádnému výtlaku ani proniknutí dílu do sebe [7].

V přechodové fázi dochází k roztavení polymeru v důsledku vířivého ohřevu v tavenině, ohřev klesá, tloušťka taveniny se zvyšuje [1].

V ustáleném stavu fáze taveniny dochází k tomu, že rychlost tavení se rovná průtokové rychlosti. [6] Hned jak je této fáze dosaženo, tloušťka roztavené vrstvy se stává konstantní. V ustáleném stavu je udržována určitou dobu, dokud nedojde k průvaru do určité hloubky, pak následuje zastavení vibrací [7].

Po zastavení vibrací následuje fáze chlazení. Rozpuštěný polymer chladne a svár se zpevňuje [9]. Díly ztuhnou pod tlakem a to má za následek trvalé spojení dílů. Z tohoto důvodu je důležité, aby celý svařový povrch byl v kontaktu jak na počátku, tak i v průběhu svařování [6].



Obrázek 8 Lineární vibrační svařovací přístroj s IR předehřevem [11]

2.5. Základní popis stroje

Konstrukce bývají složené ze svařených dutých ocelových profilů. Vibrační hlava je namontována na stojanu stroje pomocí tlumiče vibrací.

Většina strojů je samovolně položena na podlaze a disponují čtyřmi tlumícími nohami. Kvůli hluku vznikajícího při vibračním svařování stroje obsahují zvukové izolační desky, které oddělují vibrační skříň od rámu stroje a vibrace nejsou přenášeny do exteriéru a tím chrání operátora a přítomné v okolí. Tyto izolanty zvuku obecně snižují hlukové hodnoty pod hranici 85dB. Na straně obsluhy se nachází dveřní otvor na vkládání dílů ke svaření. Pro servis a údržbu se lze dostat do stroje dveřmi na zadní straně stroje [6].

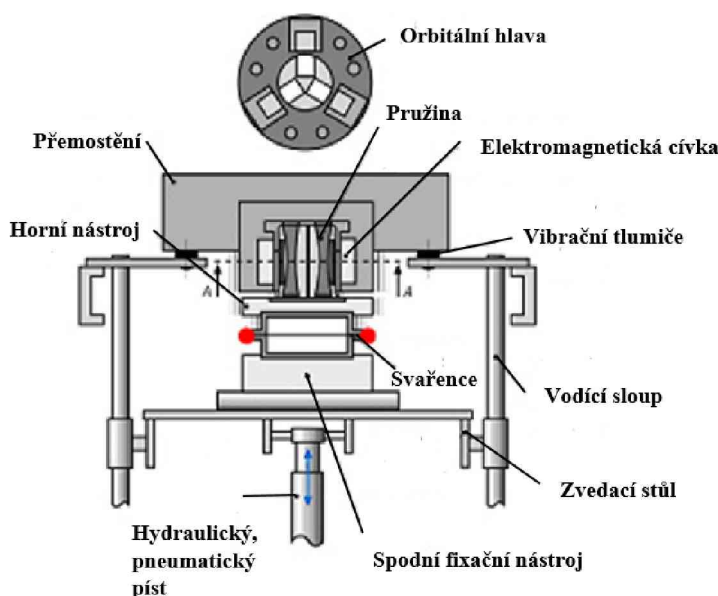
2.6. Druhy svařovacích pohybů

Máme dva hlavní druhy svařovacích pohybů. První je vibrační lineární, ve kterém vzniká tření pomocí vratného pohybu dle DVS 2217. Druhým pohybem je pohyb orbitální neboli rotační kmitavý, ve kterém je rozkmitána horní část v orbitálním pohybu dle DVS 2218 [5]. Avšak lineární vibrační svařování je nejběžněji používané. Orbitální vibrační svařování se používá spíše na nepravidelné tvarové díly, kde je tento způsob vhodnější [1].

Orbitální vibrační svařování

V orbitálním vibračním svařování jsou svařované plochy umístěny na sobě s předem definovaným tlakem. Na rozdíl od lineárního svařování hlava nástroje koná orbitální neboli rotační kmitavý pohyb. Pohyb je zajištěn třemi elektromagnety umístěnými ve vzdálenosti 120° , kde do každého elektromagnetu je postupně pouštěna elektrická energie. Tento postup se opakuje a to má za následek rotační kmitavý pohyb hlavy, která je přichycená na pružinách pro vratný pohyb hlavy do střední polohy [1]. Když je svařovací proces hotový, dojde k vypnutí elektrické energie do magnetů a hlava se vrátí do středové polohy. Díly jsou relativně málo rozvibrovány, jejich typický orbitální posun amplitudy činí 0,75 mm pro kmitočet 200 Hz v rovině spoje.[4] Na rozdíl od lineárního vibračního svařování je relativní pohyb obou dílů na rozhraní stejný ve všech bodech obvodu a stále se mění od příčného pohybu na podélný pohyb.

Tato metoda je vhodnější pro komponenty s relativně tenkými stěnami <2 mm nebo pro komponenty, které obsahují citlivé elektrické části. Orbitální svařování pomocí tření obvykle vyžaduje složitější strojní zařízení než u jiných technik, ale má tu výhodu, že můžeme svařovat části téměř jakéhokoli tvaru, pokud je spojovací plocha rovná. Kromě toho doby cyklů svařování jsou kratší než u lineárního vibračního svařování [1]. Obvyklá doba svařování je 2 až 8 s. Což znamená, že celková doba včetně manipulace a pohybu stroje činí 20 s až 40 s. Orbitální vibrační svařování se nejčastěji používá v automobilovém průmyslu. Touto metodou svařování můžeme také spojovat v kombinaci materiálu termoplast se dřevem nebo textilem [4].



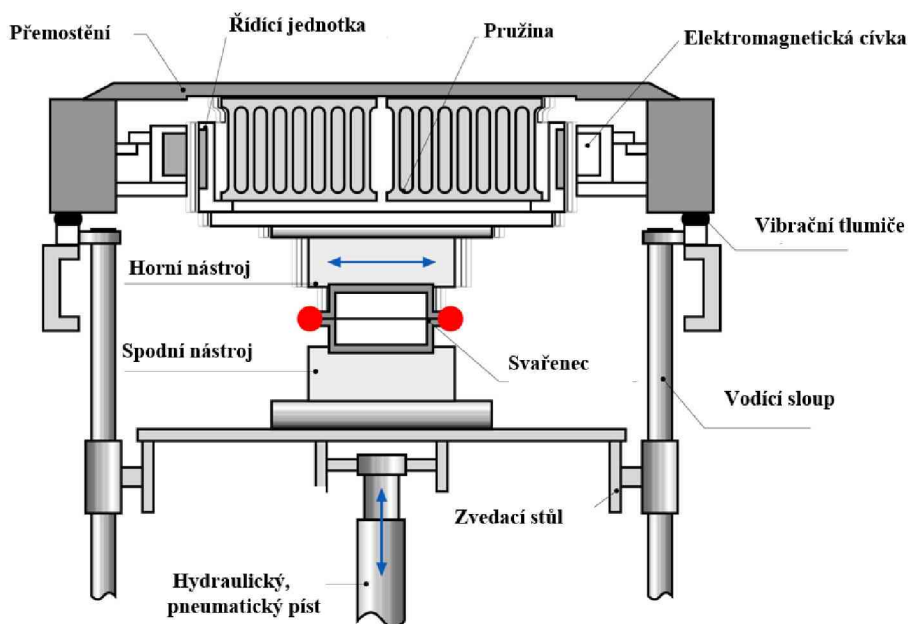
Obrázek 9 Schéma orbitálního svařovacího stroje [4]

Lineární vibrační svařování

V lineárním vibračním svařování jsou svařovací plochy umístěny na sobě pod definovaným tlakem. Vibrační síla pak působí na díly v kolmém směru pomocí tlaku a generování kmitavého vratného pohybu. To způsobí tření mezi termoplasty. Vibrace jsou relativně malé, typické posunutí amplitudy činí 0,9mm pro frekvenci 240 Hz, kdy se jedná o vysokofrekvenční lineární svařování, nebo 2 mm při 100 Hz u nízkofrekvenčního svařování v rovině spoje [5].

K pohybu zde dochází mezi dvěma elektromagnety a vibrační hlavou, která je přichycena na dvou pružinách. Do elektromagnetů je střídavě pouštěna elektrická energie a to má za účinek podélné rozkmitání nástrojové hlavy ze střední polohy. Při vypnutí elektrické energie se opět nástrojová hlava vrátí do střední polohy [6].

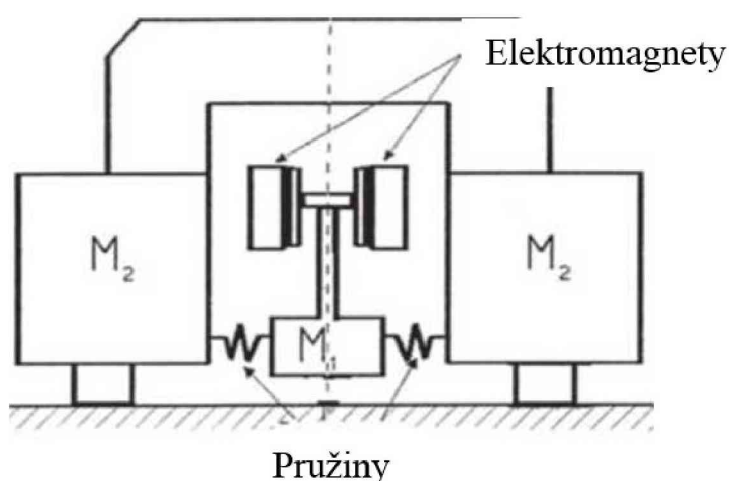
Typická doba svařování je 2 až 10s. Tedy celková doba svařování včetně manipulace a strojních pohybů bývá 20 až 45 s. Vibrační lineární svařování je již zavedená technika v automobilovém průmyslu. Může se použít na svařování aplikací dveřních výplní, přístrojových desek a difuzorů vzduchu. Můžeme spojovat téměř jakékoliv části různých druhů. I u lineárního vibračního svařování můžeme nejen svařovat termoplasty, ale je můžeme kombinovat i s jinými látkami jako je dřevo, nebo textil [5].



Obrázek 10 Schéma lineárního svařovacího stroje [5]

2.7. Popis pohybového systému

Elektromagnetické pohony pohybuji vibrační hlavou proti tahu pružin. Hmoty M_1 , M_2 a pružinová konstanta tvoří mechanické součásti tohoto rezonančního systému, kde se hmoty pohybují v lineárních vibracích, viz obrázek 11. Amplituda potřebná pro svařčeské práce je stanovena hmotou M_1 . Vratné síly pružin zajišťují přesné polohování pole zařízení s tolerancí $<0,01$ mm. Amplituda může být přizpůsobena s ohledem na zvláštní požadavky na svařovací operace. Pro stroje pracující při frekvenci 100 Hz se pohybuje v rozmezí od 1,0 do 2,0 mm. Pro stroje pracující při 240 Hz se pohybuje v rozpětí od 0,35 do 0,9 mm.



Obrázek 11 Popis ústrojí [6]

Vibrační svařečky mají tři hlavní komponenty: sestava vibrační hlavy s pružinami, zvedací stůl a nástrojové příslušenství. Vibrační hlava je pohyblivá a poháněná hydraulickými písty nebo elektromagnety. Většina komerčních systémů používá elektromagnetické vibrační systémy, které se skládají ze dvou magnetů upevněných po jednom na každém konci pružinového systému. Proces vibrací je vyvolán pomocí elektrického střídavého napětí. Pomocí pružiny a elektromagnetické energie se uvede jeden ze svařovaných dílů do pohybu. Díl ke svaření je upnutý k horní vibrační hlavě a druhý se upne do nástrojového upevnění na zvedací stůl. Pro některé aplikace jsou obě části, které mají být svařeny, umístěny v dolním nástroji. V tomto případě by měly obsahovat zarovnávací pin či kolík, nebo podobnou funkci pro přesné umístění dílu a následné svaření.

Svařovací stůl přenáší díly do kontaktu tak, že se spodní část zvedne k horní části vibrační hlavy vodící lišty, zajistí, aby byla zachována vodorovná poloha přesnosti

zvednutí. Svařovací stůl může být hydraulický, pneumatický nebo elektronicky poháněn. Konstrukce zvedacího stolu poskytuje dostatečnou hmotnost a stabilitu k protiváze vibrační hlavy. Po ukončení svařovacího procesu se stůl vrátí do spodní polohy a dveře pro odebrání svařence se otevrou a dojde k vyjmutí svařované částí. Nástroje pro vibrační svařovací zařízení jsou poměrně jednoduché, skládají se z opracovaných hliníkových desek, které odpovídají obrysu svařovací součásti.

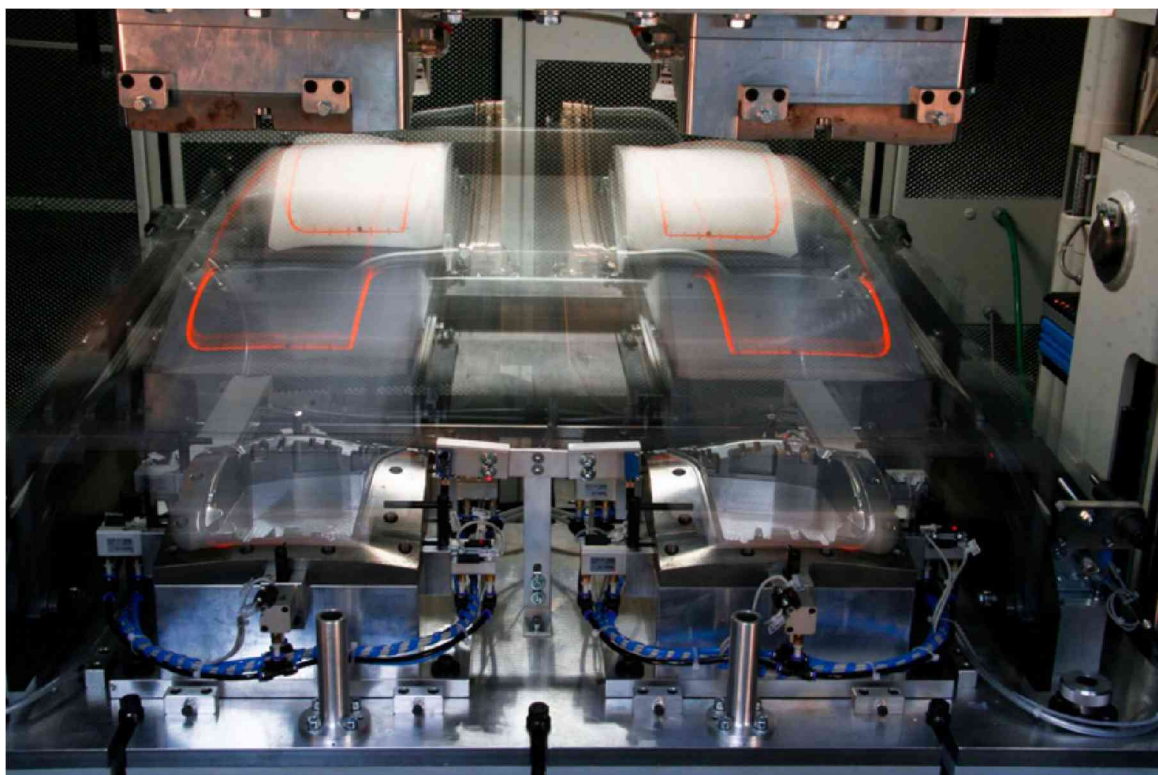
Tyto nástroje se dělí s IR ohřevem nebo bez. Sada nástrojů musí poskytovat dobrou podporu pro aplikování rovnoměrného tlaku ve svařových spojích během svařovacího cyklu. Je velmi podstatné, aby nebyl žádný relativní pohyb mezi dílem a svařovacím nástrojem v průběhu svařování, v opačném případě dochází ke snížení či ztrátě amplitudy ve svařovém rozhraní. Pro upnutí dílu se používají jednoduché upínací svorky a západky. Pneumatické svorky se používají u spodní části nástrojové a u horní části, tedy vibrační hlavy lze využít přísavky k držení součástí připravené ke svařování. Oba nástroje jak horní, tak spodní obsahují zarovnávací přípravky, jako jsou například kolíky, které nám pomáhají k přesnému uchycení svařovaného dílu do nástroje před svařováním. Jelikož vibrační hlava je v rezonanci, hmota horní části nástroje je rozhodující pro dosažení správné amplitudy a provozní účinnosti.

Moderní stroje jsou řízeny mikroprocesorem. Značka a typ mikroprocesoru závisí na požadavcích kontroly, v důsledku toho se liší u jednotlivých strojů. Tyto programovatelné stroje jsou schopny si samy určit rezonanční frekvenci po změně nástrojů, připojení příslušenství, jako například vysouvací pohony pro svařovací díly, sací upínací zařízení. Připojením manipulačního zařízení v souvislosti s dopravníkem se systém stává plně automatizován. Při použití automatizace docílíme výsledné zvýšení účinnosti. Nastavení pozice stroje lze měnit i ručním ovládáním. Nástroje u větších strojů mohou být rozděleny z výrobních důvodů na několik nástrojů, což umožňuje snadnější manipulaci pro výměnu nástroje. Většina strojů je vybavena automatickou kontrolou svařovacího cyklu. Při jeho nedodržení či překročení se automaticky vypne [6].

2.8. Vibrační svařování s IR předeřevem

Významným trendem ve svařování termoplastů je zvýšení standardů pro plastové svařové spoje a vytváření náročných částí bez viditelných svarů a linek. Tato technika svařování se dá nazvat jako hybridní, protože zahrnuje standartní vibrační svařovací techniku v kombinaci s technologií infračerveného ohřevu. Tato technologie se také nazývá Čistá vibrační technologie. V této metodě svařování jsou přesně předeřátý svařové spoje pomocí infračerveného zdroje tepla a pomocí vibrací následně svařeny [10].

Infračervená technologie předehřevu ploch je založena na principu vyzařování infračervených paprsků, které mají shodnou vlnovou délku kmitočtu jako má materiál. Termoplastický materiál je tedy ohříván absorbováním záření. Jedná se o bezdotykový ohřev materiálu. Zdrojem záření jsou keramické zářiče, halogenové a foliové [8].

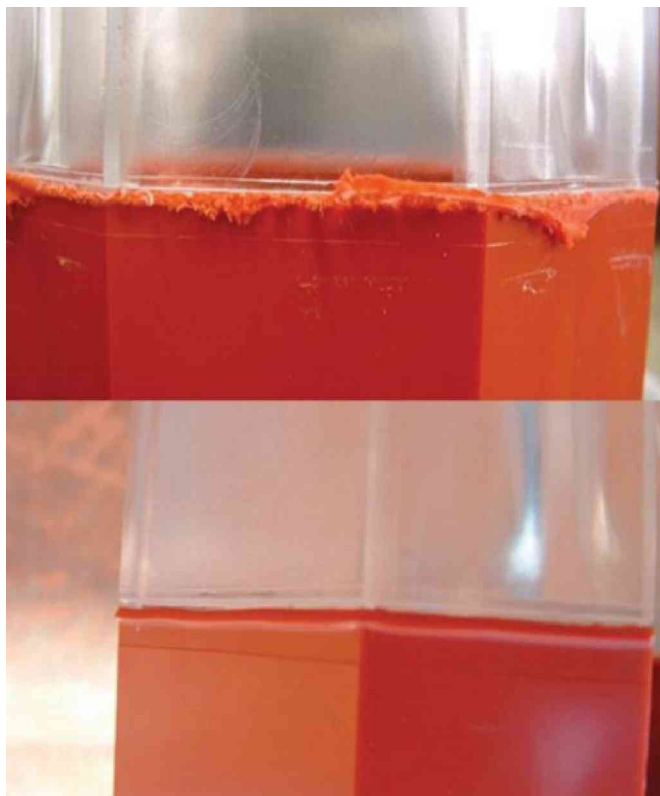


Obrázek 12 Pohled na svařovací nástroj s IR zářičem[10]

Keramické zářiče jsou připevněny na nástrojích, linie vyzařování přesně odpovídá liniím svárového spoje dvou dílů, které mají být svařeny. Díly, které mají být spojeny, jsou umístěny pod zářičem v přímé blízkosti, ale bez dotyku. Ohřívá se spoj podél svařovacích linií. Jakmile dojde k plastifikaci termoplastu, zářič se vypne a obě části jsou spolu pomocí vibrací a tlaku spojeny. Již nemusí probíhat proces tuhým třením, jelikož oba díly prošly ohřátím pomocí IR zářiče, zajišťuje se jen pomocí vibrací tok materiálu. Po dosažení optimální hloubky sváru se vibrace zataví a spojené části chladnou. Výsledný produkt má vynikající mechanické vlastnosti a nemá žádné nežádoucí výronky.

Čistý jasný svár je bez částic výronků, jež kazí estetiku, nevyžaduje následné odstranění. Maximální energická účinnost IR zářiče, která rychleji a účinněji vyvolá u polymeru taveninu. Tím šetří čas a energii použitého procesu spojování. Metoda vibračního svařování s IR ohřevem je ideální pro čisté přesné spojení takových částí jako,

jsou světla automobilu, nádrže na palivo nebo jakákoliv část výrobku, která vyžaduje čistý svár s velkými nároky na estetiku, integritu a funkci [10].



Obrázek 13 Svařování bez použití IR zářiče a s IR zářičem [10]

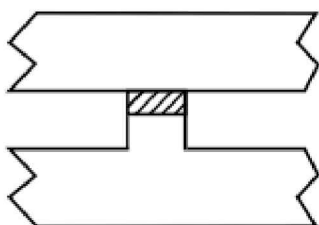
2.9. Tvar a linie sváru

Tvar a plochy spoje mají rozhodující vliv na kvalitu sváru. Z tohoto důvodu je nesmírně důležité vzít v úvahu kritéria vibrací v počáteční fázi návrhu spoje, aby se zajistilo optimální spojení obou součástí. To znamená věnovat náležitou pozornost budoucím požadavkům. Spoj musí splňovat těsnost proti vodě, páře, plynu nebo jiným médiím [7]. Mechanická pevnost patří mezi základní požadavky. Svařené díly musí vydržet očekávané tahové a tlakové síly. Díly musí být dostatečně tuhé, aby nedocházelo k prohýbání ve spoji při svařování. Kromě těchto požadavků na pevnost spoje je důležitým aspektem vizuální vzhled hotového sváru. V praxi je běžné, že stěny, které budou svařeny, mají dvakrát až třikrát větší tloušťku, aby byla zajištěna jejich tuhost a zamezilo se prohnutí stěny[1].

Základní druhy svaru

Tupý spoj

Jedná se o nejjednodušší konstrukci. Může být použita pro svařování menších dílů nebo na stěny, které jsou rovnoběžné s vibračním pohybem. Aby se zabránilo nečekaným nehodám styčné plochy, nesmí být zcela mimo kontakt, takže amplituda je omezená na 90 procent tloušťky. Používá se u součástí, kde je zanedbatelný vzhled [1].

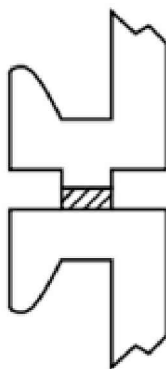


Obrázek 14 Tupý spoj [1]

Tupý spoj s U-drážkou

Svar s U- přírubou je vhodný tam, kde jsou tenké nebo dlouhé nepodepřené stěny.

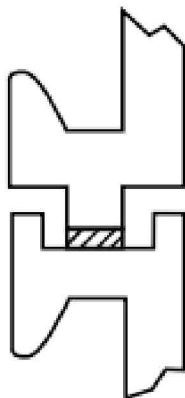
Je navržen tak, aby zámek stěny byl přichycen komponenty k nástroji, a tím zabrání ohybu stěny. Stěny tenké až 0,8 mm bývají úspěšně svařeny [1].



Obrázek 15 Tupý spoj s U- drážkou [1]

Spoj péro s U-drážkou

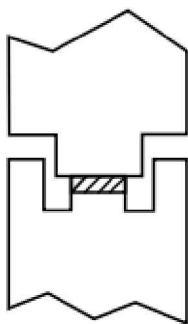
Drážka bezpečně drží v nástroji, který vyrovnává dosedací části k sobě před svařováním. Síla tlaku je použita přímo nad svařovací oblastí. Jedna svařovaná část má zvýšený jazýček, který je na jedné straně svařované součásti. Během vibrací se materiál taví a vyplňuje volné místo v drážce [1].



Obrázek 16 Spoj péro s U-drážkou [1]

Spoj dvojité péro a U – Drážkou

Spojení srovnatelné s perem s U-drážkou se ale používá pro maximální pevnost. Výhoda tohoto spojení je v čistém vzhledu svařované součástí [1].

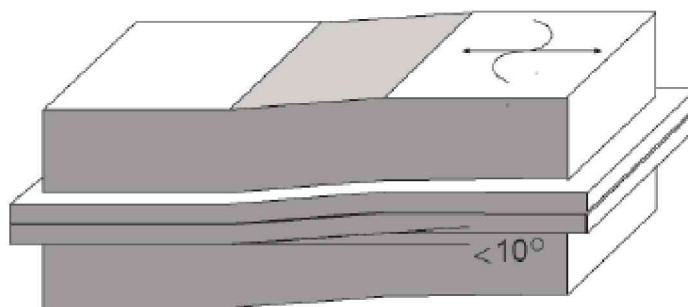


Obrázek 17 Spoj dvojité péro a U-Drážka [1]

Linie sváru

Jedním z nejnáročnějších úkolů při plánování návrhu součástí, které mají být svařeny pomocí vibrací, je linie, kde součást bude svařena. Vzhledem k tomu, že svařovací nástroj se přitlačí definovaným tlakem k svařované součásti a následně po

dokončení povolí, je užitečné, aby byl tento fakt zvážen při plánování svařovacích linií. Obecně platí, že linie ploché po celé délce svařence se jednodušeji svařují než zakřivené linie sváru. Vzhledem k robustnosti vibračního svařování je to možné. Omezení mohou však nastat, pokud je nakloněná svárová linie neboli pokud je svárová linie pod úhlem. Hloubka průniku a účinný tlak je nižší na svárech pod úhlem. Použitá rovina spoje může být odkloněna 10 stupňů ve vztahu ke směru vibračního svařování [6].



Obrázek 18 Maximální odklon spoje od roviny [6]

2.10. Výhody a nevýhody vibračního svařování

K výhodám vibračního svařování patří relativně rychlé svařování, dobrá energetická účinnost, svařování velkých dílů, malé nároky na přípravu povrchu. Ohřev je lokalizován do určité míry na rozdíl od tepelného svařování, kde dochází k degradaci materiálu vyplývající z přehřátí, je zde menší pravděpodobnost[10]. Části mohou být svařeny bez ohledu na technologii zpracování (vstřikováním, extrudované, vakuovým tvarováním ,atd.). U vibrační technologie jsou sváry vysoce pevné a hermeticky těsné. U průhledných materiálů je svár transparentní.

Jedná se o přesné svařování, i když bod tání plastů je předvídatelný, místo spoje sváru ve výrobku se může mírně lišit. Nevýhodou vibračního svařování jsou vysoké investiční náklady na zařízení a nástroje ve srovnání s jinými procesy např. ultrazvukovým svařováním. Nicméně můžeme svařovat více dílů najednou s rychlejším cyklem zpracováním. Problém, který se někdy objevuje u vibračního svařování je převádění veškeré energie pocházející z vibračního pohybu na tepelnou energii v zóně sváru. Kinetická energie se přeměňuje na tepelnou ze strany vnitřního tření a mezifázového tření. Pevný materiál ve fázi tření může způsobit velké ohýbání, musí se tedy použít správné upnutí a termoplastický materiál musí být dostatečně tuhý, aby se předešlo deformacím. Nevýhodou procesu pro některé aplikace konečného použití bývá vytvoření jemného chmýří ve tvaru výronku na linii sváru. Tento jev bývá u tvrdých plastů. Dochází

k němu během fáze 1. Další nevýhodou je generování zvuku během svařování, které obvykle činí 90-95 dB. Proto tyto stroje disponují zvukovými kryty, které jsou nutností pro snížení hluku na přijatelnou úroveň [7].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3. POPIS VZORKŮ A STROJE M-624 HRSI

3.1. Popis testovaného vzorku

Jedná se o zadní svítilnu z automobilu Volkswagen Transporter modelový rok 2015, vyrobený ve společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. se sídlem v Mohelnici. Ke zkoušce byly svařeny svítilny, a to s IR přehřevem a bez IR přehřevu.

Svítilny můžeme rozdělit na dvě části a to krycí část svítilny, vyrobenou z PMMA a zadní část, tzv. pouzdro, vyrobenou z netransparentního materiálu PC-ABS. Obě tyto části jsou vyrobeny vstřikováním tak, že v každém vstřikovacím cyklu jsou vyrobeny zároveň dvě součásti, tzv. pár stejného typu výrobku. V případě více - komponentního vstřikování se v každém vstřikovacím cyklu vstříkne vždy pouze jeden materiál a po vytvrzení druhý

Před vstřikováním se základní materiál vyskytuje ve formě granulí. Granulát je nejprve sušen v násypce a pak pomocí šneku přepravován do plastifikační jednotky, kde dojde k nahřátí na požadovanou vstřikovací teplotu. Teprve pak je vstřikován do formy.



Obrázek 19 Testovaná svítilna

3.2. Popis vibrační svařčky M-624HRSi

Zařízení M-624 HRSi pochází od společnosti Branson. Svařovací stroj je speciálně navržen pro součástky střední velikosti, jakými jsou například koncová světla a expanzní nádrže. Svařovací stroj disponuje elektrickým pohonem zvedacího stolu. Vibrace jsou zajištěny pomocí elektromagnetického pohonu hlavy, zvláště při použití infračerveného zářiče. Stroj se vyznačuje velmi krátkými propojovacími časy, což umožňuje účinný předehřev svařovaného povrchu k dosažení homogenního svárového lůžka bez vrubů. Při jednom svařovacím procesu je vždy svařen levá a pravá svítilna zároveň. Zařízení M 624HRSi je vybaveno inovativním Soft-PLC s ovládacím systémem VC 100 [24]



Obrázek 20 Lineární vibrační svařovací přístroj M-624HRSi[11]

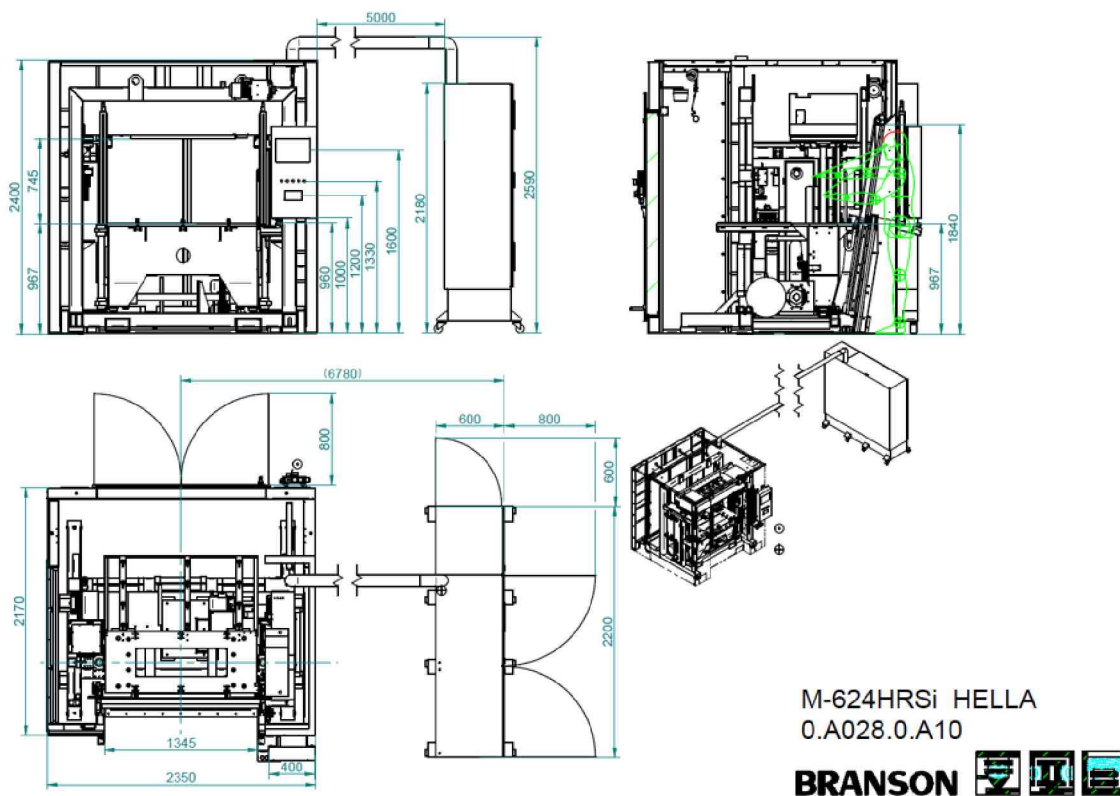
3.2.1 Technické údaje stroje

Tabulka 2 Technické údaje stroje [24]

Mechanika		
Celkové rozměry (V x Š x H)	viz Rozměry, plán postavení v kapitole „Technické údaje“	mm
Rozměry s otevřenými dveřmi (V x Š x H)		mm
Upevnění nástroje na vibrační hlavě (Š x H)	920 x 540	mm
Upevnění nástroje na zdvižném stole (Š x H x výška nad podlahou)	1330x540x967	mm
Drážka ve zdvižném stole (Š x H)	660 x 250	mm
Volný prostor mezi upevněním vodících sloupů	1 380	mm
Volný prostor mezi zvedacím stolem a vibrační hlavou	745	mm
Zdvih stolu	0-485	mm
Minimální výška nástroje	270	mm
Celková hmotnost	cca 5600	kg
Vibrační hlava		
Typ	50 kg	
Kinematika	lineární kmitání	
Frekvence kmitání (nominální, závisí na hmotnosti nástroje)	cca 240	Hz
Amplituda	0,35 - 0,90	mm
Hmotnost vibrující poloviny nástroje	35-65	kg
Výkonnost (spojovaná plocha, závisí na materiálu)	50 - 500	cm ²
Přesnost polohování	+ / - 0,05	mm
Drážka ve vibrační hlavě (Š x H)	žádná	mm
Pohon		
Měnič kmitočtu	Měnič kmitočtu Branson	
Výkon	30	kW
Řízení stroje		
PLC (standard, zvláštní vybavení: viz nabídka)	Soft PLC (software, IEC 1131, sběrnice Profibus)	
Ovládací přístroj (standard, zvláštní vybavení: viz nabídka)	Branson VC-100 (PC řízení)	
Řízení zdvižného stolu	celá dráha pojezdu (sběrnice Profibus)	
Řízení spojovací dráhy (hloubka svařování)	uzavřený regulační obvod (sběrnice Profibus)	

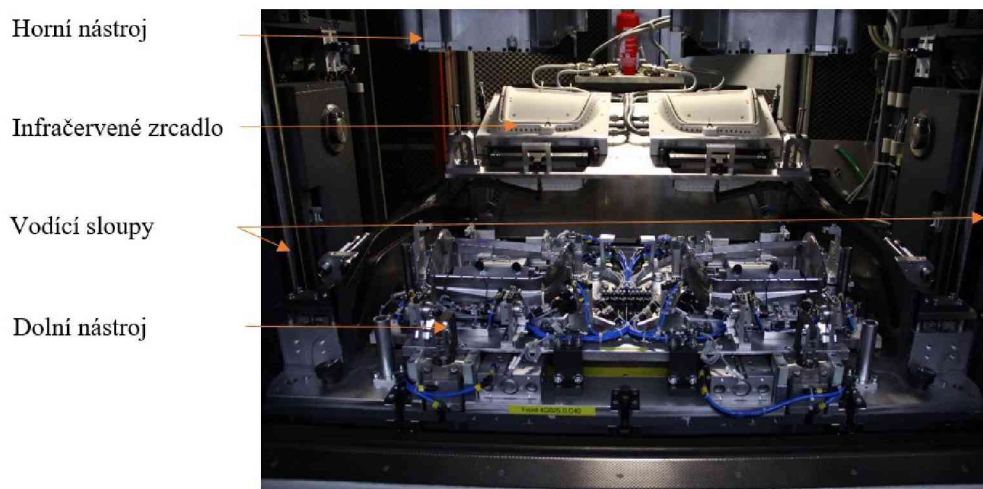
Hydraulika		
Výrobce (standard, zvláštní vybavení: viz nabídka)	Vickers	
Lisovací síla	max. 25 000	N
Olej (plněné množství potřebné k provozu, specifikace)	32c St/40°C H-LP32)	
Rychlost pojezdu zdvižného stolu	max. 250	mm/s
Pneumatika		
Výrobce (standard, zvláštní vybavení: viz nabídka)	Festo	
Vstupní tlak	6-10	bar
Funkce (standard, zvláštní vybavení: viz nabídka)	6(8)	
Zvuková izolace		
Typ (standard, zvláštní vybavení: viz nabídka)	normální provedení	
Emise hluku (DIN 45635)	79,8	dB
Přední ochranné dveře (V x Š x výška nad podlahou)	680 x 1 330 x 1 050	mm
Zadní dveře pro údržbu (vnitřní rozměry, V x Š)	1 720 x 920	mm
Nátěr (standard, zvláštní vybavení: viz nabídka)	RAL 7035 (světle šedá)	
Připojky		
Stlačený vzduch	1/4 "	
Napájecí napětí	3x400V, N,PE, 50HZ	
Napájení	24	V
Datová rozhraní	paralelní port tiskárny, analogový modem	
Podmínky okolního prostředí		
Teplota	15-+ 40	°c
Vlhkost vzduchu (nekondenzující)	30-95	%
Výška místa použití (nadmořská výška)	1000	m

3.2.2 Rozměry, plán postavení



Obrázek 21 Rozměrový plán, plán postavení BRANSON M-HRSi [24]

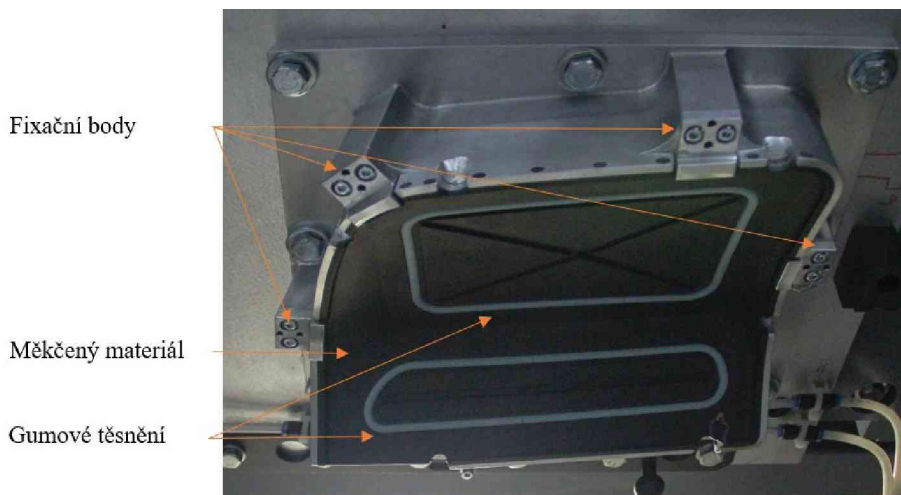
3.2.3 Celkový pohled do stroje



Obrázek 22 Popis základních částí stroje

3.2.4 Horní nástroj

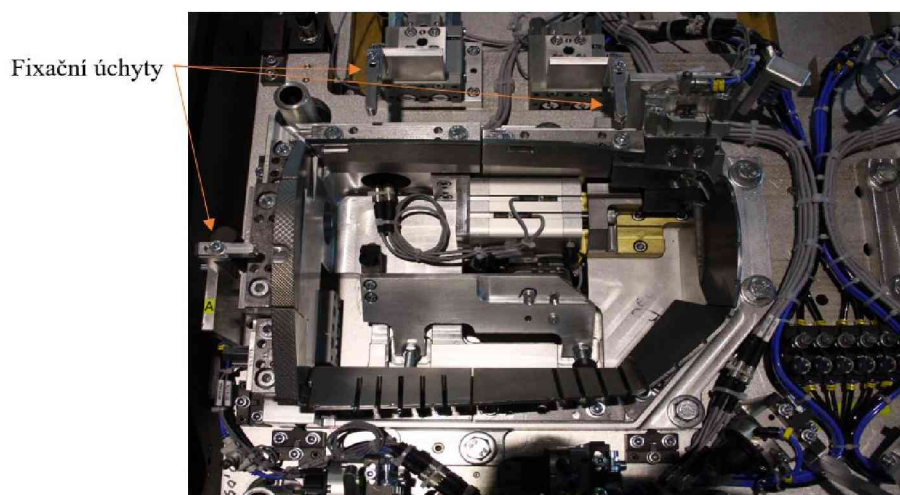
V horním nástroji dochází k vibracím, tedy k vychýlení do stran dle zadané amplitudy. Je vybaven vakuovým úchopem, který je vyplněn gumovým těsněním k zajištění přidržení při svařování. Nástroj je opatřen měkčeným materiálem, aby nedocházelo k poškození materiálu PMMA při svařování. K zajištění dokonalé polohy a nežádanému vychýlení svařované součásti je nástroj opatřen fixačními body proti vychýlení přední části svítilny.



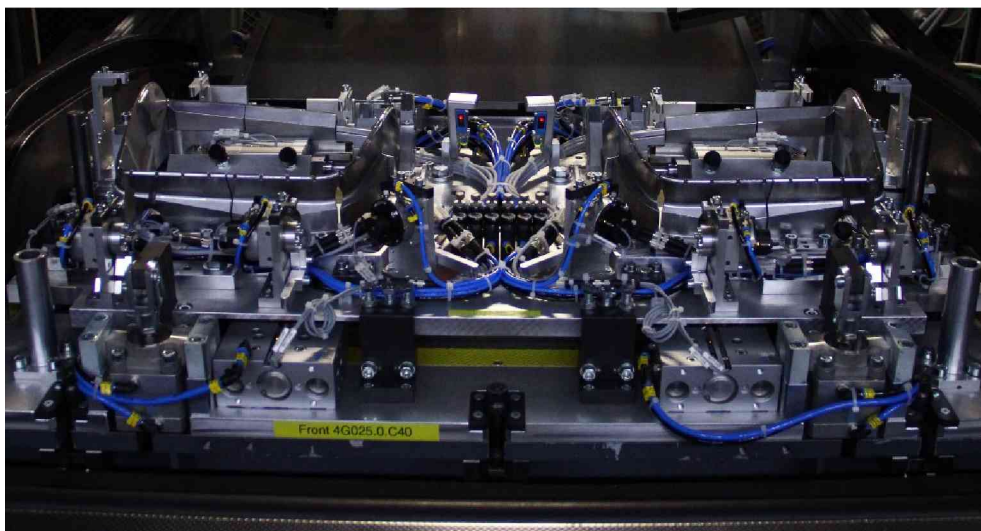
Obrázek 23 Popis horního nástroje

3.2.5 Dolní nástroj

V dolním nástroji je k uchycení pouzdra použito tvarové pouzdro. Zde je uchycení zadní části svítilny zajištěno pomocí ovládaných fixačních úchytů. Dolní nástroj má funkci zajistit předem stanovený tlak na svařovanou součást.



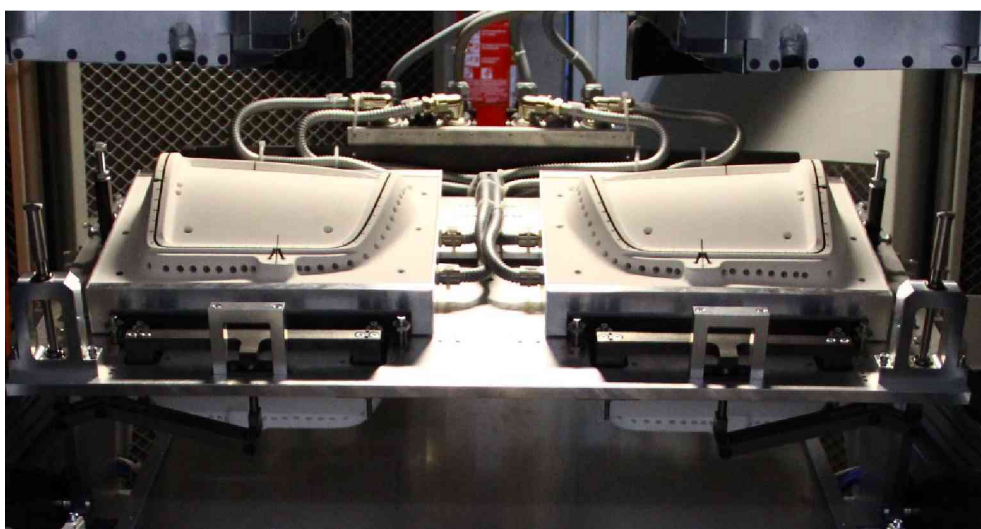
Obrázek 24 Popis spodního nástroje



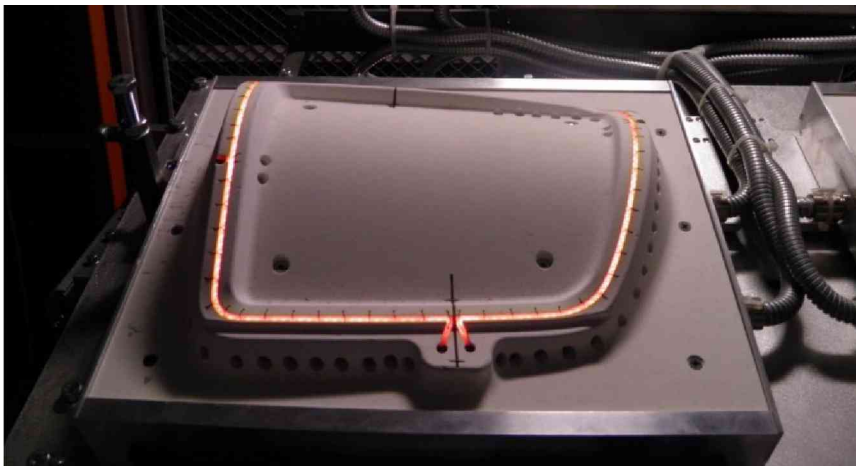
Obrázek 25 Spodní nástrojový celek

3.2.6 Infračervené zrcadlo (CVT)

Funkce infračerveného zrcadla spočívá v předeřtí svárového spoje před svařením. Předeřtí probíhá u obou dílů zároveň. Forma je vyrobená z keramiky, kde jsou po linii sváru umístěny speciální folie ze slitiny niklu k předeřvu svarového spoje. Vzdálenost infračerveného zářiče od součástí se pohybuje mezi hodnotami od 3 do 4 mm. U stroje lze nastavit, zda bude použito (CVT), nebo lze tento proces zcela vypnout.



Obrázek 26 Infračervené zrcadlo (CVT- clean vibration technology)



Obrázek 27 Infračervené zrcadlo (CVT) zapnutý přehřev

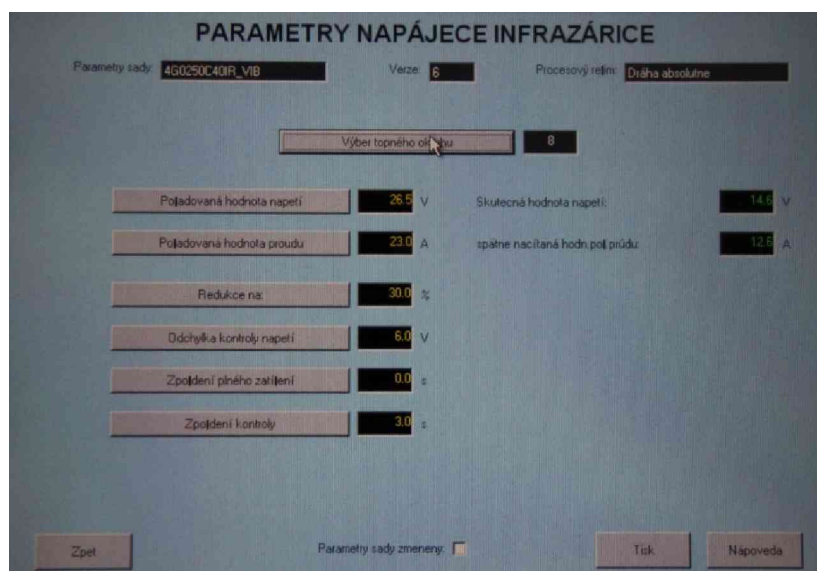
3.3. Příprava svařování

Pro potvrzení výsledků zkoušky byly tyto svařovací parametry použity na zkušební vzorky, a to s IR přehřevem a bez IR přehřevu.

3.3.1. Svařovací parametry zadané

Tabulka 3 Svařovací parametry

Použitá technologie	Bez IR	S IR
Amplituda [mm]	0,8	0,8
Frekvence [Hz]	223,4	223,4
Tlak [daN]	600	600
Hloubka sváření [mm]	0,8	0,8
Čas přehřevu [s]		5



Obrázek 28 Nastavené napájecí parametry na pájce infrazářiče

3.4. Vady vznikající při svařování

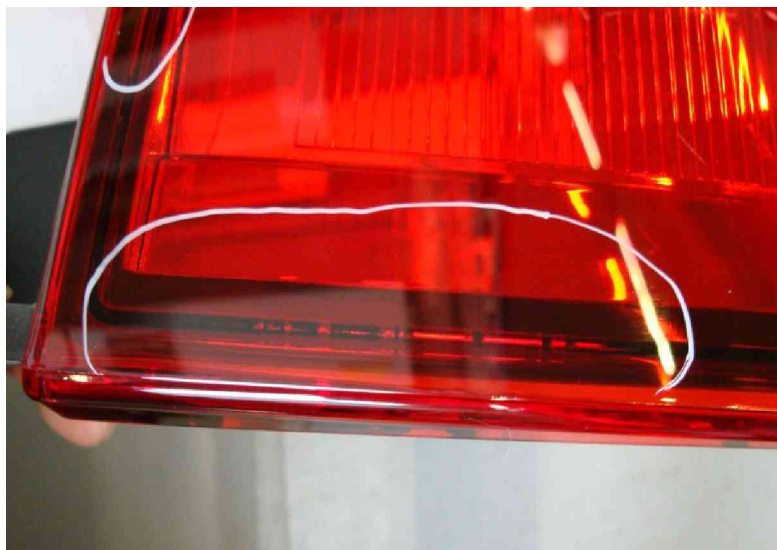
Jedná se o nežádoucí jev svařování. Nejčastější vady jsou necelistvost sváru tedy svár je v určitém místě nezavařen, to má za následek netěsnost svítilny. Tedy výrobek je považován za nevyhovující a není možné již tuto vadu opravit. Tyto vady vznikají špatně zvolenými svařovacími parametry. Častější výskyt těchto vad je detekován při použití svařování bez IR předehřevu.

Jelikož je u svítilny kladen velký důraz na vzhled a svár se nachází na pohledové straně svítilny, je zde tvar sváru velmi důležitým specifickým hodnocením. Při použití svařování bez IR docházelo k výskytu výronků.

Aby bylo možno ověřit přínos IR předehřevu bylo vyráběno po dobu jedné pracovní směny s IR předehřevem a na druhou směnu byl předehřev vypnut. Během každé směny se vyrobilo 500 sad svítilen. Následně byly svítilny kontrolovány a evidovány vzniklé vady.

1. Neprůvary

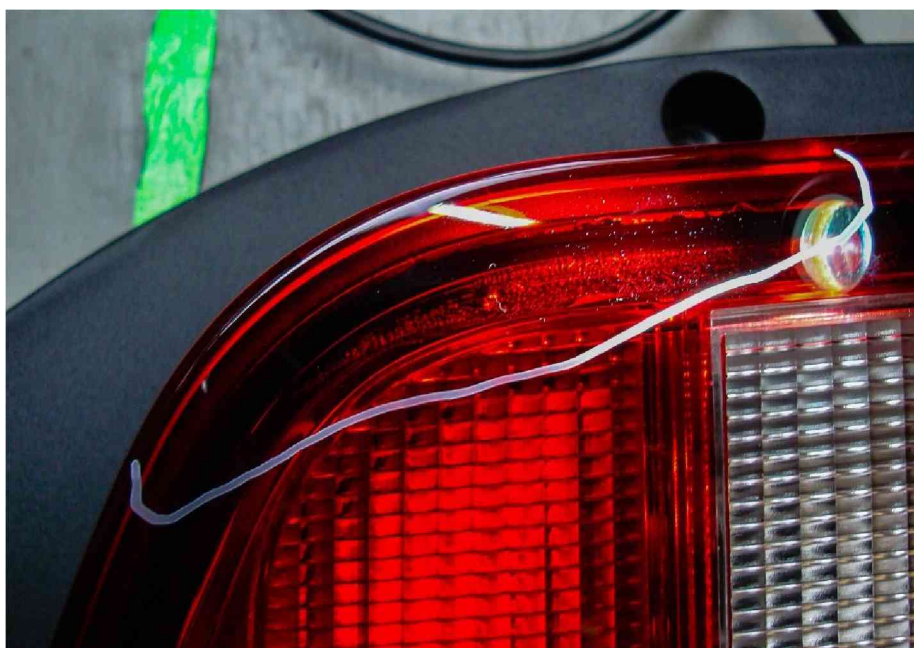
Při svařování bez IR předehřevu se vyskytovaly lokální neprůvary z důvodu nedostatku tepla vzniklého třením, příčinou této vady je nízký lokální tlak zapříčiněný možnou deformací vstupního komponentu, jehož důsledkem je vznik nedostatečného množství tepla pro vznik vyhovujícího svarového spoje. Při svařování s IR předehřevem se tato vada nevyskytovala. Důvodem, proč se tato vada nevyskytuje při svařování s IR předehřevem je, že část tepelné energie, která by v případě svařování bez IR předehřevu vznikla třením je vnesena do obou komponentů již předehřátím, proto je při použití IR předehřevu množství tepla dostatečné pro vznik svarového spoje.



Obrázek 29 Vznik vrubů

2. Vznik vrubů- výron taveniny

Při svařování bez IR předehřevu se vyskytovaly výrony taveniny, jejichž příčinou byl lokální vysoký tlak zapříčiněný především deformací vstupních komponentů. V počáteční fázi svařování, kdy se třením svarové plochy obou komponentů zahřívají vzájemným třením, vznikají místa, kde jsou materiály v kontaktu dříve než ve zbytku svarové plochy. Důsledkem tohoto jevu je, že v některých místech svarových ploch je již dostatek tepla a materiál již přejde do fáze taveniny, kdežto ve zbytku svarových ploch teplo teprve vzniká. V důsledku tohoto jevu dochází k výronům taveniny. Při svařování s IR předehřevem je během předehřevu do obou svarových ploch přenesena část tepla a přechod do fáze taveniny probíhá rovnoměrněji, což má pozitivní vliv na rovnoměrnější rozložení výronu taveniny ze svarového spoje, a místa s nerovnoměrným objemem výronů vnikají méně často.



Obrázek 30 Vznik vrubů

3. Vznik volných částic

K této vadě docházelo pouze při svařování bez předehřevu. První příčinou této vady je, že v oblastech, kde je svarový spoj podélně ve směru vibrací, dochází při přechodu svařovaného materiálu do fáze taveniny k vytírání žmolků nebo vlasů ve tvaru spirály. Druhou příčinou této vady mohou být nehomogenity v roztavovaném materiálu. Důvodem, proč k této vadě nedochází při svařování s IR předehřevem je, že při předehřevu je do svarového spoje vnesena tepelná energie, která má za následek

rychlejší přechod svařovaného materiálu do fáze taveniny a tím zkrácení roztírací fáze svařování, při které tento jev vzniká.



Obrázek 31 Vznik volných částí

4. Částečné roztavení skla

Tato vada vzniká pouze při svařování s předehřevem. Důvodem je nesprávné nastavení vzdálenosti spirály emitoru od předehřívaného materiálu, v důsledku čehož dojde ke vnesení většího množství tepelné energie. Materiál PMMA používaný pro výrobu krycích skel má obecně nižší teplotu tavení než PC-ABS používaný pro výrobu pouzder, proto při přitlačení pouzdra a zahájení vibrování dojde k deformování měkké, přehřáté části krycího skla a následnému výronu v podobě čiré taveniny.



Obrázek 32 Částečné roztavení skla

Tabulka 4 Počet vad

	Počet vad	
	Svařování bez IR předehřevu	Svařování s IR předehřevem
Neprůvary	5	0
Výrony taveniny- vruby	7	1
Vznik volných částic	64	0
Částečné roztavení skla	0	6



Obrázek 33 Stanoviště pro posuzování vad svítilen

3.5. Testování vzorků

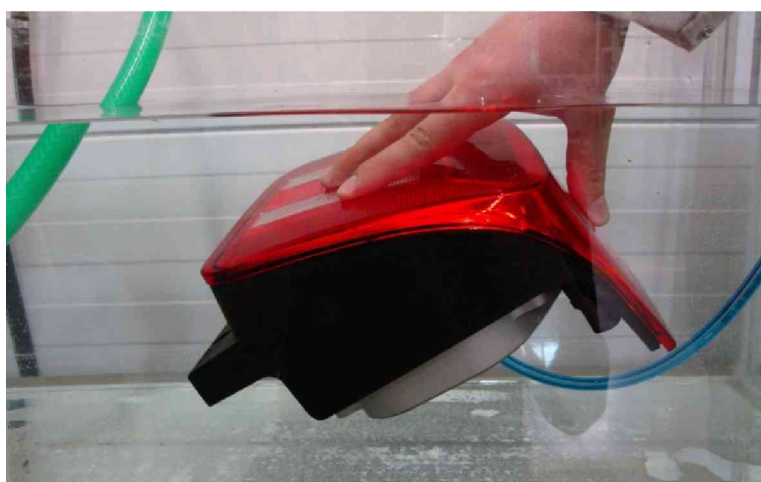
3.5.1. Zkouška těsnosti

U každého ze vzorků byla před destruktivní zkouškou tlakem provedena kontrola těsnosti svárového spojení „přípravku“. Nejprve byla u svítilny zajištěna těsnost zadní strany, a to pomocí přípravku opatřeného gumovým těsněním po obvodu spojení. Přípravek byl na svítilnu přichycen čtyřmi šrouby na standardní úchyty svítilny. Následně byla připojena hadice přivádějící do svítilny tlak vzduchu.



Obrázek 34 Přípravek nainstalovaný na svítilně

Připravený vzorek byl ponořen do skleněné nádoby s vodou a následně byl do svítilny pouštěn tlak vzduchu o maximální hodnotě 30 mbar, aby nedošlo k destrukci svítilny, kde pomocí vizuální kontroly byla zjištěna těsnost svítilny a příprava vzorku na destruktivní zkoušku.



Obrázek 35 Popis základních částí stroje

3.5.2. Zkouška „tlakem“

Zkouška tlakem byla provedena na zařízení přímo vyrobené firmou HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. Zkoušená svítidla je umístěn do svařené nerezové nádoby. Svítidla je připojena pomocí hadice na zařízení přivádějící tlak vzduchu do svítidel. Přístroj přivádí tlak vzduchu, přičemž jeho hodnota lineárně roste a tlak působí uvnitř svítidla, jelikož je svár považován za nejslabší místo svítidla, tak právě zde dojde k destrukci svítidla, a to oddělení zadní části PC-ABS od přední PMMA a následnému zaznamenání tlaku na obrazovku přístroje. Takto byly testovány svítidla s IR předehřevem a bez IR předehřevu.

3.5.3. Naměřené hodnoty na po zkoušce „tlakem“ bez IR předehřevu

Tabulka 5 Naměřené hodnoty bez IR

Použitá technologie	Číslo vzorku	Tlak vzduchu [mbar]
Bez IR	1	320
	2	325
	3	323
	4	319
	5	317

3.5.4. Naměřené hodnoty po zkoušce „tlakem“ s IR předehřevem

Tabulka 6 Naměřené hodnoty s IR

Použitá technologie	Číslo vzorku	Tlak vzduchu [mbar]
S IR	1	430
	2	427
	3	429
	4	425
	5	432



Obrázek 36 Testovací stanoviště

3.6. Výpočet hraničního tlaku

3.6.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet

P_{lim} - limitní tlak pro zkoušku (nejnižší tlak, který je nutno dosáhnout)

F_{sv} - síla působící na svar (vypočtená z tlaku při zkoušce a obsahu krycího skla, který výpočet proveden v programu CATIA)

S_{sv} - plocha svaru

S_{ks} - obsah plochy opsané svařovacím žebrem na krycím skle, plocha, na kterou působí tlak vzduchu, který plníme do svítilny (výpočet proveden v programu CATIA)

l_{sv} - délka svařovacího žebra (výpočet proveden v programu CATIA)

A - amplituda [cm] (ve vzorci výše se násobí 2*, protože amplituda je pouze výchylka, nikoliv celkový rozkmit)

$\sigma_{n_{min}}$ - minimální smykové napětí je to konstanta je dána požadavky pro danou technologii svařování, odkazuje se na normu HN 20120-1 Hella

3.6.2. Výpočet

Požadavek :

$$\sigma_{n_{\min}} \geq 1MPa$$

$$\sigma_{n_{\min}} \geq \frac{100N}{100mm^2} = \frac{100N}{cm^2}$$

Výpočet:

$$\sigma_{n_{\min}} \geq 1MPa$$

$$\sigma_{n_{\min}} \geq \frac{100N}{100mm^2} = \frac{1N}{mm^2}$$

$$p_{\lim} \geq Re$$

$$p_{\lim} \geq \frac{F_{sv}}{S_{ks}}$$

$$F_{sv} = \sigma_{n_{\min}} \cdot S_{ks}$$

$$F_{sv}[N] = \sigma_{n_{\min}} \cdot S_{sv}[cm^2]$$

$$S_{sv} = l_{sv} \cdot 2 \cdot A$$

$$p_{\lim} \geq \frac{\sigma_{n_{\min}}[MPa] \cdot l_{sv}[mm] \cdot A[mm] \cdot 2}{S_{ks}[mm^2]} = \frac{1 \cdot l_{sv} \cdot A \cdot 2}{S_{ks}} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$p_{\lim} \geq \frac{1 \cdot l_{sv} \cdot A \cdot 2}{S_{ks}} \cdot 1000000[pa]$$

$$100pa = 1mbar$$

$$p_{\lim} \geq \frac{\frac{1 \cdot l_{sv} \cdot A \cdot 2}{S_{ks}} \cdot 1000000}{100} [mbar]$$

$$p_{\lim} \geq \frac{1 \cdot 1030 \cdot 0,8 \cdot 2}{69235} \cdot 10000 [mbar]$$

$$p_{\lim} \geq 238,00mbar$$

Tabulka 7 Výsledné vypočítané hodnoty

Limitní tlak pro zkoušku ($p_{lim} \geq$) [mbar]	238,00
--	--------

3.7. Výpočet síly působící na svár

3.7.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet

S_{sv} - plocha svaru

S_{ks} - obsah plochy opsané svařovacím žebrem na krycím skle plocha na kterou působí tlak vzduchu, který plníme do svítilny (výpočet proveden v programu CATIA)

P_n – tlak naměřený zkouškou

l_{sv} - délka svařovacího žebra (výpočet proveden v programu CATIA)

A - amplituda [cm] (ve vzorci výše se násobí 2*, protože amplituda je pouze výchylka, nikoliv celkový rozkmit)

Re- mez pevnosti

3.7.2. Výpočet pro první vzorek bez IR přehřevu

$$Re \geq 1MPa$$

$$Re \geq \frac{1N}{100mm^2}$$

$$S_{sv} = l_{sv} \cdot 2 \cdot A$$

$$Re = \frac{P_n \cdot S_{ks}}{S_{sv}}$$

$$100pa = 1mBar$$

$$Re = \frac{P_n[mBar] \cdot S_{ks}[m^2]}{l_{sv}[mm] \cdot A[mm] \cdot 2}$$

$$Re = \frac{320 \cdot 0,069235}{1030 \cdot 0,8 \cdot 2}$$

$$Re = 1,34MPa$$

III. Vyhodnocení naměřených hodnot a závěr

4. Vyhodnocení naměřených hodnot

Pro ověření správnosti pevnosti spojení byly provedeny zkoušky tlakem na vzorcích se stejně zadanými parametry, a to technologií svařování bez IR předehřevu a s IR předehřevem dle předem zadaných svařovacích parametrů. Z výpočtu je zřejmé, že při požití IR předehřevu je svařový spoj prokazatelně pevnější.

Tabulka 8 Výsledné vypočítané hodnoty bez IR předehřevu

Použitá technologie	Číslo vzorku	Mez pevnosti $[MPa]$
Bez IR	1	1,3466
	2	1,3676
	3	1,3592
	4	1,3424
	5	1,3340

Tabulka 9 Výsledné vypočítané hodnoty s IR předehřevu

Použitá technologie	Číslo vzorku	Mez pevnosti $[MPa]$
S IR	1	1,8095
	2	1,7969
	3	1,8053
	4	1,7885
	5	1,8179

5. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá přínosem využití infračerveného předehřevu při vibračním svařování s ohledem na zvýšení jakosti svarového spoje zadní skupinové svítilny pro Volkswagen Transporter T6.

V teoretické části jsou popsány materiály, které se používají pro výrobu zmiňovaných svítlen, resp. jejich základních komponentů, tedy materiálu PC/ABS, ze kterého je vyrobeno pouzdro svítilny a PMMA, který se používá pro výrobu světelného krytu. Dále se teoretická část zabývá popisem technologie vibračního svařování a IR předehřevu.

Experimentální část práce popisuje svařovací stroj BRANSON M624-HRSi, včetně technických údajů a popisem vzorků, které byly pro experiment zvoleny. Experiment spočívá ve sledování výroby po dobu jedné pracovní směny při použití IR předehřevu a jedné směny bez něj. Během každé směny se vyrobilo 500 sad svítlen. Následně byly svítilny kontrolovány a evidovány vzniklé vady. U svařování bez IR předehřevu jsou evidovány vady ve velkém počtu a to především „vada vzniku volných částí“, ve srovnání se svařováním s IR předehřevem docházelo k minimálnímu výskytu vad.

Zkoušky „tlakem“ slouží pro kvantifikování vlivu IR předehřevu na pevnost svarového spoje. Před zkouškou byla provedena kontrola těsnosti svítlen ponořením zkoušených vzorků do skleněné nádoby s vodou a natlakování svítilny stlačeným vzduchem o tlaku 30mBar, kde pomocí vizuální kontroly byla kontrolována těsnost svítilny a správné montáže těsnícího přípravku pro destruktivní zkoušku. Z výsledků destruktivní zkoušky „tlakem“ vyplývá, že obě použité metody splňují požadavky na minimální pevnost svarového spoje. Avšak při použití metody svařování s IR předehřevem bylo prokázáno zvýšení pevnosti svarového spoje.

Výstupem této práce je prokázání jednoznačně pozitivního vlivu při použití IR předehřevu. Jeho pozitivní vliv spočívá v rovnoměrném vnesení tepelné energie do svarového spoje ještě před začátkem svařování, což má za důsledek částečné nahrazení první fáze svařování, při které vzniká část tepla pro vytvoření svarového spoje a zároveň nejvíce vad při svařování.

Výsledky bakalářské práce budou použity při výrobě svítlen firmou HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o.

Seznam použité literatury

- [1] *Vibration Welding Guide: Vibration Welding of Engineering Plastics*. 2011.
- [2] SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Základní dílo. Praha: Dashöfer, 1999. ISBN 80-86229-15-7.
- [3] BIRON, Michel. *Thermoplastics and thermoplastic composites*. 1st ed. Waltham, MA: William Andrew, 2013, xxvii, 1044 p. PDL handbook series. ISBN 14-557-7898-2.
- [4] Technology: Branson informs about Orbital Vibration Welding. *Branson Europe* [online]. Německo: Branson Ultraschall, 2007 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <https://www.branson.eu/products/vibration-welding/orbital-vibration-welding/technology>
- [5] Technology: Branson informs about Linear Vibration Welding. *Branson Europe* [online]. Německo: Branson Ultraschall, 2007 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <https://www.branson.eu/products/vibration-welding/linear-vibration-welding/technology>
- [6] *Vibration for Plastics Joining: Theory and Application*. Dietzenbach, 2012.
- [7] TROUGHTON, Michael John. *Handbook of plastics joining: a practical guide* [online]. 2nd ed. Cambridge, UK: TWI/The Welding Institute, 2008, xxii, 590 p. [cit. 2016-01-26]. ISBN 978-081-5515-814.
- [8] LOYDA, Miloslav, Vlastimil ŠPONER a Ladislav ONDRÁČEK. *Svařování termoplastů*. Vyd. 1. Praha: Uno, 2001, 496 s. ISBN 80-238-6603-6.
- [9] Vibration welding. *KLN Ultraschall AG - Vibration welding* [online]. Německo: KLN Ultraschall AG, 2014 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <http://www.kln.de/en/verfahrensbeschreibungen/vibrationsreibschweissen>
- [10] *Clean Vibration Technology: For Parts Demanding Particulate-free and Aesthetically Clean Plastic Weld Joints*. Německo, 2012.
- [11] Clean Vibration Technology - CVT (Vibration Welding). *Branson Europe* [online]. Německo: Branson Ultraschall, 2007 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <https://www.branson.eu/products/clean-vibration-technology-cvt-vibration-welding>
- [12] BASHFORD, David. *Thermoplastics: directory and databook*. 1st ed. New York: Chapman, 1997, viii, 493 p. ISBN 04-127-3350-1
- [13] HARPER, Charles A a Edward M PETRIE. *PLASTICS MATERIALS AND PROCESSES: a concise encyclopedia*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2003, xxxii, 974 p. ISBN 04-714-5603-9.

- [14] HARPER, Charles A. *Modern plastics handbook*. New York: McGraw-Hill, 2000, 1 v. (various pagings). ISBN 00-702-6714-6.
- [15] PMMA. *RESINEX: Distribution of Plastics & Elastomers* [online]. Česká republika: RESINEX Group, 2016 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/pmma.html>
- [16] PMMA Thermoplast: PMMA - polymethylmetakrylát. *Precizní vakuové tvarování* [online]. Česká Republika: plasticsystems.cz, 2016 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/cz/PMMA/>
- [17] POLYACRYLIC OR ACRYLIC RESIN (PMMA): Materials recommended by our engineering department and regularly used in production. In: *Gaggione : plastic injection company* [online]. France: GAGGIONE SAS, 2007 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://www.gaggione.com/downloads/polyacrylicoracrylicresinpmma.pdf>
- [18] SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. Základní dílo včetně 3. aktualizace - aktuální stav: červenec 2000*. Praha: Dashöfer, 2000. ISBN 80-86229-15-7.
- [19] PC/ABS Thermoplast: PC/ABS - polykarbonát/akrylonitril-butadién-styrén. *Precizní vakuové tvarování* [online]. Česká Republika: plasticsystems.cz, 2016 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/pc-abs.html>
- [20] Flame Retardant PC/ABS. *UNIC Technology Corp* [online]. THAILAND: Copyright © UNIC Technology Corp [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: http://www.unicgroup.com/en/02_product/03_product_detail.php?mid=36
- [21] PC/ABS - Material coin - Material coin - Promolding. *Promolding, creating polymer solutions - Promolding* [online]. Laan van Ypenburg: Promolding BV [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://promolding.nl/materiaal-munt.php?lan=uk&c=201>
- [22] Where-To-Buy-Cost-Efficient-Custom-Auto-Body-Parts. *Elite Auto Glass* [online]. Elite Auto Glass [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://kenrobertsautoglass.com/wp-content/uploads/2013/11/Where-To-BuyCost-Efficient-Custom-Auto-Body-Parts.jpg>
- [23] Automotive. *Branson Europe* [online]. Německo: Branson Ultraschall, 2007 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <https://www.branson.eu/markt-segmente/automobil>
- [24] *Vibrační svářečka M-624HRSi: Návod k provozu*. 1. Dietzenbach, 2012.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Rozklíčování zkratk z obrázku 3.....	10
Tabulka 2 Technické údaje stroje [24]	33
Tabulka 3 Svařovací parametry.....	38
Tabulka 4 Počet vad.....	42
Tabulka 5 Naměřené hodnoty bez IR	44
Tabulka 6 Naměřené hodnoty s IR	44
Tabulka 7 Výsledné vypočítané hodnoty	47
Tabulka 8 Výsledné vypočítané hodnoty bez IR přehřevu	48
Tabulka 9 Výsledné vypočítané hodnoty s IR přehřevu	48

Seznam obrázků

Obrázek 1 Termoplastický řetězec [1]	9
Obrázek 2 Polymerová struktura [1]	9
Obrázek 3 Svařitelnost termoplastů [1].....	11
Obrázek 4 Využití termoplastů v automobilovém průmyslu [22].....	12
Obrázek 5 Struktura PC/ABS [7]	15
Obrázek 6 Amplituda [1].....	18
Obrázek 7 Průběh fází svařování [1]	19
Obrázek 8 Lineární vibrační svařovací přístroj s IR předehřevem [11].....	20
Obrázek 9 Schéma orbitálního svařovacího stroje [4].....	21
Obrázek 10 Schéma lineárního svařovacího stroje [5].....	22
Obrázek 11 Popis ústrojí [6]	23
Obrázek 12 Pohled na svařovací nástroj s IR zářičem[10].....	25
Obrázek 13 Svařování bez použití IR zářiče a s IR zářičem [10]	26
Obrázek 14 Tupý spoj [1]	27
Obrázek 15 Tupý spoj s U- drážkou [1]	27
Obrázek 16 Spoj péro s U-drážkou [1].....	28
Obrázek 17 Spoj dvojité pero a U-Drážka [1].....	28
Obrázek 18 Maximální odklon spoje od roviny [6]	29
Obrázek 19 Testovaná svítilna	31
Obrázek 20 Lineární vibrační svařovací přístroj M-624HRSi[11].....	32
Obrázek 21 Rozměrový plán, plán postavení BRANSON M-HRSi [24].....	35
Obrázek 22 Popis základních částí stroje.....	35
Obrázek 23 Popis horního nástroje	36
Obrázek 24 Popis spodního nástroje.....	36
Obrázek 25 Spodní nástrojový celek	37
Obrázek 26 Infračervené zrcadlo (CVT- clean vibration technology)	37
Obrázek 27 Infračervené zrcadlo (CVT) zapnutý předehřev	38
Obrázek 28 Nastavené napájecí parametry na pájce infrazářiče	38
Obrázek 29 Vznik vrubů	39
Obrázek 30 Vznik vrubů	40
Obrázek 31 Vznik volných částí.....	41
Obrázek 32 Částečné roztavení skla.....	41
Obrázek 33 Stanoviště pro posuzování vad svítilen	42
Obrázek 34 Přípravek nainstalovaný na svítilně	43
Obrázek 35 Popis základních částí stroje.....	43
Obrázek 36 Testovací stanoviště	45